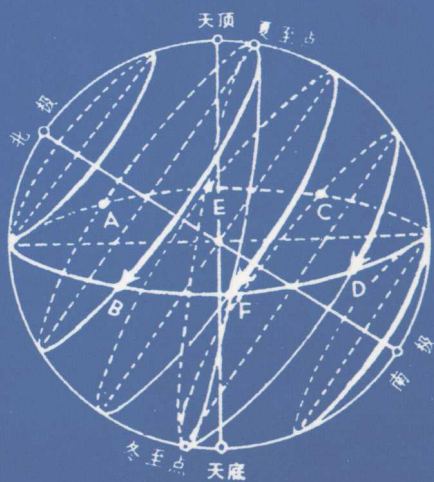
中国科技百科之二

时空探索的
天文历法

主编：李穆南

中国环境科学出版社
学苑音像出版社

J522
L214/51

中国科技百科之二

探索时空的
天文历法

李穆南　主编

中国环境科学出版社
学苑音像出版社

图书在版编目（CIP）数据

校园活动设计·中国科技百科/李穆南主编．—北京：中国环境科学出版社，2005．12

ISBN 7－80163－504－3

Ⅰ．校… Ⅱ．李… Ⅲ．校园活动—中国—科普
Ⅳ．J522

中国版本图书馆CIP数据核字（2005）第093527号

中国科技百科之二

探索时空的天文历法

主编　李穆南

中国环境科学出版社
学苑音像出版社 出版发行

★

北京一鑫印务有限公司
2006年4月第1版第1次印刷
开本：850×1168毫米　印张：156　字数：2800千字

ISBN 7－80163－504－3
全二十册定价：580．00元

（ADD：北京市朝阳区三间房邮局10号信箱）
P．C：100024　Tel：010－65477339　010－65740218（带fex）
E－mail：webmaster@BTE－book．com　Http：//www．BTE－book．com

前　言

中华民族具有悠久的历史和灿烂的文明，在数千年的发展历程中，曾经创造了许许多多辉煌的科学技术成就，在一个相当长的历史时期居于世界领先的地位，对人类文明作出了伟大的贡献。

夏以前、夏、商、西周（——公元前 771 年）

原始社会时，我国已有了农、牧业和原始手工业。进入奴隶社会以后，由于奴隶阶级的辛勤劳动，农牧业和手工业有了较大的发展。商代时，在农牧业生产的推动下，开始了对天文和数学的研究，制定了较好的历法，并已使用十进位记数法。商代青铜的冶炼和铸造技术达到了很高的水平。

春秋、战国（公元前 770 年——公元前 221 年）

春秋以来，随着冶铁手工业的发展和铁制工具的使用，社会生产力迅速提高。

战国时期，封建制生产关系在许多诸侯国逐渐代替奴隶制生产关系并日益发展，我国社会面貌发生巨大的变化。农业、牧业、水利、采矿、冶铁以及其他手工业等社会生产和科学技术出现了生气勃勃的发展局面。农业生产技术的发展

奠定了我国精耕细作的优良传统的基础；大规模的水利建设为我国农业生产的进一步提高创造了良好的条件；冶炼、铸造和机械制造技术的发展对生产力的提高起了重要的作用；以《内经》为代表的我国医学理论体系初步形成；天文学、地学、数学、物理学等方面也有很大发展；许多思想家、科学家得出了一些朴素的唯物主义自然观。

秦、汉（公元前221年——公元220年）

秦汉时期由于农业生产的需要，天文、历法、数学等方面有了很大的发展。《氾胜之书》，《周髀算经》、《九章算术》、《伤寒杂病论》等著作标志了我国农学、天文学、数学、医学等达到了新的水平。纺织、机械、冶金、建筑、造船等技术也有了较大的发展。造纸术的发明，是我国古代劳动人民对世界文明做出的重大贡献。

魏、晋、南北朝（公元220年——公元589年）

东汉末年的黄巾大起义消灭了一批豪强大地主，推动了三国时期社会生产力的发展。西晋统治阶级大量霸占农田，南北朝的门阀士族封山占水，他们残酷剥削农民，严重地阻碍社会生产力和科学技术的发展。西晋到南北朝爆发了一系列农民起义，沉重地打击了豪强大地主。南朝无神论者范缜高举“神灭论”的旗帜，与以梁武帝萧衍为首的佛教徒的“神不灭论”展开了激烈的斗争，坚持了形谢神灭的唯物主义观点。著名科学家贾思勰重视实践，系统地总结了劳动人民的生产经验，对我国农业科学作出了重大贡献。祖冲之勇于创新，在天文历法和数学上取得了杰出的成就。地学、医药学、冶炼、化学等也有重要进展。我国科学技术在斗争中继续前进。

前　言

隋、唐、五代（公元589年——公元960年）

隋唐的科学技术有很大发展，天文学、历法、地理学、医药学等方面以及农业、纺织、陶瓷、建筑、航海等技术都有了不少新的成就。火药和印刷术的发明是我国古代科学技术的重大成就，对世界文明的发展也做出了贡献。唯物主义思想家柳宗元、刘禹锡等人批判了有神论和天命论，发展了朴素的唯物主义自然观。

宋、辽、金、元（公元前960年——公元1368年）

唐末黄巢领导的农民大起义沉重地打击了世家豪族势力，推动封建社会进一步发展。宋结束了五代十国的分裂局面，重新建立了统一的封建国家，社会经济得到了恢复和发展。宋、辽、金、元时期，土地兼并十分严重，阶级矛盾更趋尖锐。北宋中期，王安石实行变法。新法中的若干措施如农田水利法等，有助于社会生产力的发展，为科学技术的发展创造了一定的条件。指南针、活字印刷术和火药武器的发明，是宋代人民在科学技术上的重大贡献。进步科学家沈括在科学技术的许多领域都取得了卓越的成就。宋代在建筑、机械、矿冶、造船、纺织、制瓷技术等方面也取得了较大的进展，医药学的发展出现了新的局面。

明、清（鸦片战争以前）（公元前1368年——公元1840年）

在元末农民大起义的推动下，明初的社会生产力有了一定的发展。清初农业、手工业生产有所恢复和发展。但是，随着封建制度日益腐朽没落，社会生产力和科学技术的发展也日趋迟缓。明代中叶以后出现的资本主义萌芽，由于受到封建制度的严重束缚而得不到进一步发展。我国古代科学技

术的许多领域在世界上曾经长期处于领先的地位，但是进入明代中叶之后却逐渐落后了。

明清时期纺织、冶炼、制瓷、制糖、造纸、印刷、造船等手工业的规模和技术都有相当程度的发展。李时珍的《本草纲目》、徐光启的《农政全书》、宋应星的《天工开物》等著作系统地总结了我国古代农业、手工业技术以及医药学、生物学等方面的重要成就，达到了很高的水平。明代中叶以后，西方自然科学知识开始传入我国。

为了继承和发扬我国古代宝贵的科学遗产，《中国科技百科》丛书汇集了国内多家单位的研究人员进行编撰工作。全书分数学、物理、化学、天文、地学、农学、医学、生物学等共20卷，计300余万字。该书是一项全面系统的、宏大的学术工程和文化工程，是中国科学技术界的一部影响深远的著作。该书的出版，将弥补国内外关于中国科学技术史研究的不足，对于我们深入认识和理解祖先留给我们的宝贵的科学文化遗产，实现中华民族的伟大振兴具有重要的意义。

因本书规模较大，编写时间仓促，书中难免存在错误，敬请广大读者朋友们批评指正。

《中国科技百科》编委会

2006年4月

目 录

天文历法史

中国古代天文学思想 …………………………………………… (3)
古历法 …………………………………………………………… (9)
天文仪器 ………………………………………………………… (11)
天象记录 ………………………………………………………… (14)
宇宙理论 ………………………………………………………… (16)
二十四史中天文律历诸志 ……………………………………… (17)
《周髀算经》中的天文学 ……………………………………… (24)
《灵宪》 ………………………………………………………… (27)
《乙巳占》 ……………………………………………………… (29)
《开元占经》 …………………………………………………… (31)
《观象玩占》 …………………………………………………… (33)
《甘石星经》 …………………………………………………… (34)
《步天歌》 ……………………………………………………… (35)
《灵台秘苑》 …………………………………………………… (36)

《浑天仪图注》 …………………………………… (37)
《新仪象法要》 …………………………………… (39)
《畴人传》 ………………………………………… (41)
表和圭 …………………………………………… (42)
漏和刻 …………………………………………… (47)
浑仪 ……………………………………………… (56)
简仪 ……………………………………………… (63)
仰仪 ……………………………………………… (66)
浑象 ……………………………………………… (68)
晷仪 ……………………………………………… (73)
复矩 ……………………………………………… (76)
牵星板 …………………………………………… (78)
古历的沿革 ……………………………………… (81)
古历的分期 ……………………………………… (88)
日躔 ……………………………………………… (90)
月离 ……………………………………………… (95)
晷漏和中星 ……………………………………… (101)
宇宙无限和天地成亡 …………………………… (105)
星名 ……………………………………………… (108)
古日食与地球自转 ……………………………… (112)
彗星记录 ………………………………………… (118)
流星记录 ………………………………………… (124)
陨石记录 ………………………………………… (126)
太阳黑子和极光 ………………………………… (128)
行星现象和太阳变化 …………………………… (132)
古代客星 ………………………………………… (140)

《崇祯历书》和第谷体系 …………………………… (146)
北京古观象台及《灵台仪象志》 …………………… (150)
《仪象考成》 ………………………………………… (157)
《历象考成》 ………………………………………… (159)

古代天文学家

刘歆 ………………………………………………… (163)
贾逵 ………………………………………………… (165)
张衡 ………………………………………………… (167)
何承天 ……………………………………………… (169)
祖冲之 ……………………………………………… (172)
刘焯 ………………………………………………… (174)
李淳风 ……………………………………………… (176)
瞿昙家族 …………………………………………… (178)
一行 ………………………………………………… (180)
沈括 ………………………………………………… (182)
郭守敬 ……………………………………………… (184)
贝琳 ………………………………………………… (186)
徐光启 ……………………………………………… (187)
梅文鼎 ……………………………………………… (189)
明安图 ……………………………………………… (191)

天文历法理论

三垣二十八宿 …………………………………… (195)
星表与星图 …………………………………… (198)
变星 …………………………………… (202)
新星和超新星 …………………………………… (203)
天文分野占 …………………………………… (205)
二十四节气 …………………………………… (212)
十二生肖 …………………………………… (214)
十六时制 …………………………………… (216)
十二辰纪时法 …………………………………… (218)
漏刻纪时法 …………………………………… (220)
盖天说 …………………………………… (223)
浑天说 …………………………………… (226)
宣夜说 …………………………………… (228)

壹

天文历法史

中国古代天文学思想

天文学思想是对天文学家的思维逻辑和研究方法长期起主导作用的一种意识。在中国古代，它同统治中国思想界的儒家思想，以及与之互相渗透的佛教、道教思想都有着密切的联系。天空区划、星官命名、星占术的理论和方法、编制历法的原理、宇宙结构的探讨等等，无不受其支配，从而形成一套带有鲜明特色的中国古代天文学。

泛神论无疑是人们最早产生的一种意识，天地山川、风雹雨电，乃至树木花草都有神，而其中以天神最为崇高，主宰一切，它以无声的巨力改变着天空景象。季节交替，草木荣枯，动物回归出没是这样有节奏地变化，原始时代的人们既无知识能去解释自然，更无力量征服自然，这种崇拜意识的产生是可以理解的。但是，正是这种意识成了星占术得以产生和流行的思想基础。而中国奴隶制和封建制的统治者都声称他们是天子，是替天行道的，为了上承天意，下达民情，必须有一套破释天意的秘诀，这就成了中国星占术产生的社会基础。

中国星占术有三大理论支柱，这就是天人感应论、阴阳五行说和分野说。天人感应论认为天象与人事密切相关，所

谓“天垂象，见吉凶”，“观乎天文以察时变”（易经）。阴阳五行说把阴阳和五行二类朴素自然观与天象变化和“天命论”联系起来，以为天象的变化乃阴阳作用而生，王朝更替相应于五德循环。分野说是将天区与地域建立联系，发生于某一天区的天象对应于某一地域的事变。这些理论和方法的建立，决定了中国星占术的政治意味和宫廷星占性质。正由于这种星占术在政权活动中的重要作用，天象观察就成了官方必须坚持的日常活动，这造就了中国古代天文学的官办性质，从而有巨大的财力和物力保证，促使天象观察和天文仪器研制得以发展。

在具有原始意味的天神崇拜和唯心主义的星占术流行的时代，甚至在占主导地位的时候，反天命论的一些唯物主义思想也在发展，那些美丽的神话传说，如“开天辟地”、“后羿射日”、“嫦娥奔月”等都反映了人们力图征服自然改造自然的向往和追求。后来，不少思想家提出了反天命、反天人感应的观点，如“天行有常，不为尧存、不为桀亡”（《荀子·天论》）、“天人交相胜，还相用”（《刘禹锡·天论》）、“天地与人，了不相关”（王安石语，引自《司马温公传家集》）等等，这些健康思想指导人们在探求天体本身的规律，研讨与神无关的客观的宇宙。

历法作为中国古代天文学的基本内容，它反映了中国古代天文学的实用性和实践第一思想。这两点也是中国古代科学共同的特色。中国天文学家通过观察和计算寻找天体运动

的规律，并以符合这些规律作为制定历法的指导思想。“历之验，本在于天”（《后汉书·律历志》），“历法疏密，验在交食”（《元史·历志》）。为了使历法符合天象，遂有不断改历，改历的过程是使历法精密化的过程。中国天文学家运用特有的代数学方法，如调日法、内插法、剩余定理、逐步逼近等方法，解决了编制历法，预告天体位置，日月交食等任务，并以实际天象作出检验，满足了人民对农时季节的需要，也在认识天体运动规律方面做出了贡献。

关于天地关系、宇宙的结构，自古就引起人们的思考，在原始的“天高地厚”认识之后又出现了多种说法，最后以盖天说与浑天说的争论最为持久。在长期争论中，以实际天象作为检验的唯物主义思想原则再次得到了尊重。由于浑天说不借人为的假说就能很完满地解释一些基本天象，因而为多数人和历法家们所接受；而盖天说的天动地静、天在上地在下的观点为天命观所利用，成为天尊地卑、君高臣低等儒家伦理观点的依据，长期占据统治地位而被流传下来。尽管与传统的地静观点相反，中国古代也有大量地动观点的记载，但这一观点始终未能得到发展。这反映了各种思想意识对科学探索的影响。

在恒星命名和天空区划方面，各种思想意识的影响就更加明显。古代星名中有一部分是生产生活用具和一些物质名词，如斗、箕、毕（捕鸟的网）、杵、臼、斛、仓、廪（粮仓）、津（渡口）、龟、鳖、鱼、狗、人、子、孙等等，这

可能是早期的产物。大量的古星名是人间社会里各种官阶、人物、国家的名称，可能是随着奴隶制和封建制的建立和完善，以及诸侯割据的局面而逐渐形成的。天空区划的三垣二十八宿，其二十八宿的名称与三垣名称显然是二种体系，它们所占天区的位置也不同。这都反映了不同的思想意识的影响。

应该提及的是中国古代天文学家探求原理的思想。西方耶稣会传教士入华以后，为了站稳脚跟以达到传教的目的，一方面介绍一些西方科学知识，一方面否定中国的传统 科学。有一种说法认为中国古代天文学只求知其然，不求知其所以然，而一些有崇西非中思想的人也附合这种看法。其实这是一种偏见，中国古代科学很早就努力探索天体运动的原理。孟子曰："天之高也，星辰之远也，苟求其故，千岁之日至可坐而致也。"苟求其故就是探求所以然的思想，这一思想不断被后来的学者所接受，如沈括对不是每次朔都发生食的解释，郭守敬对日月运动追求三次差四次差的改正，明清学者对中西会通的研究，都体现了苟求其故的思想。

在近代科学诞生之前，对于东西方古代天文学家来说，都没有近代科学和万有引力定律的理论武装，要探求天体运动的原理都不会成功的。古希腊学者用几何系统推演法，设想出天体绕转的具体形状，以预告它们的位置，而设想的那些水晶球天层或后来的本轮均轮，为什么会转，乃归之于宗动天的带动，至于宗动天的动力从何而来，也是无法交待

的，只能归之于上帝。中国古代天文学家通过观测，取得大量数据，通过这些数据设计出一套代数学的计算方法，目的也是预告天体的位置，其运动原因乃归之于气的作用，“其行其止，皆须气焉。”（《晋书·天文志》）拿物质性的气同宗动天来比较，中国古代天文学家的看法还包含着唯物主义的成分。他们均按各自的方法解释天体的运动，结果只能是某种程度上的近似，甚至是一些思辨的形式，这是古代科学性质决定了的。怎么能说用几何模型形象地描述了天体的运动轨迹就是知其所以然，而以数学计算法求得相似的结果就不是知其所以然呢？星图和星表都能描述天体的位置，几何作图法和解析法都能求出一条线段的垂直平分线，方法不同，结果一致，我们怎能扬此抑彼呢？事实上，中国古代历法中许多表格及计算方法都可以找到几何学上的解释。日本薮内清教授和刘金沂曾分别以几何学方法和代数学方法对中国历法中求合朔时日月到交点距离的计算方法做过解释，结果是相通的。

此外，中国古代天文学家对许多天象都有深刻的思考并力图给于解释。屈原在《天问》中提出了天地如何起源，月亮为何圆缺，昼夜怎样形成等大量问题；盖天说和浑天说都努力设法解释昼夜、四季、天体周日和周年视运动的成因，对日月不均匀运动也曾以感召向背的理由给予解释；后代学者对气的讨论，右旋，左旋的争论，地游和地转的设想，天地起源和衰亡的思辨等等，都反映了探求原理的思

想。尽管他们是不成功的或缺乏科学根据的，但不能因为不成功而否定他们的努力。探索原理的思想几千年来一直在指导中国古代科学家的工作。如同西方科学家一样，只有当近代天体力学理论出现之后，对于天体运动之原理才算最终找到了“所以然”——万有引力的作用。

古历法

中国古历法，几乎包括天文学的全部内容，带动了古代天文学的全面发展。从一开始，它就担负起“历象日月星辰、敬授民时”的重要任务。早在游牧时代，狩猎和采撷都需要掌握动植物活动和成熟的规律。后来农业发展起来，对于以农立国的我国来说，掌握天时季节就是至关重要的，人们从观察天象、物候开始，渐渐建立起年月日的概念，为制定历法奠定了基础。历法从物候历走向阴阳合历，又经过不断改革，达到了相当精确的程度，满足了农耕和日常生活的需要。在发展过程中，又把推算交食、行星位置、昼夜漏刻、昏旦中星等内容包括进来，可以说创立了中国式的天文年历。

我国古历法在漫长的岁月中保持了纪日制度的延续性，使我国历史从公元前841年至今有确切的时日可考。此前虽无确切的时日记录，但通过其他天文、历史、考古等方法仍可大体确定某些重大历史事件的年代。在世界上有如此延续不断的时日记录是绝无仅有的，中国古历法对历史年代学的贡献由此可见。

阴阳合历是我国古历的特色，它既考虑了太阳视运动同气候变化的内在联系，又考虑了月亮视运动、月相变化同人

们的夜间生产活动、潮汐规律的关系，创立了大小月和闰月的方法，使两种周期巧妙地结合起来。为了表达季节气候的变化，又创立24节气，指导农业生产活动，这在世界上也是独有的。

历经多次改革的中国古历，先后编撰出百余种，在编历过程中逐步建立起一套工作程序，这就是从研制仪器开始，坚持观测取得数据，按各种数学方法处理后建立一套计算公式，又推算出过去某年之日食，以兹跟事实比较，再作出修改。这无疑是一整套科学的工作方法，是我国科学思想宝库中的一件珍品。

最后应该提到，中国古历善于运用天文学、数学研究的最新成果，尽量采用最新的天文数据和数学方法，使历法的编算逐渐精确。我国古历采用的回归年、朔望月、交点月、行星会合周期等等天文数据都相当精确，在世界上处于领先地位。当岁差、日月运动不均匀等现象发现后也立即在编历中加以应用，数学上的剩余定理、内插法等方法都首先应用于编历计算中。

上述这些特色和成就，使中国古历在世界上影响深远，我国周围的邻国和地区受中国古历影响很大，有的国家甚至长期使用中国历法，在其天文学的发展中深深地印有中国背景。

天文仪器

天文仪器的研制是天文学发展的基础，历代天文学家都很重视。我国古代天文仪器种类多、制作精、构思巧、用途广、装饰美、规模大，在世界天文仪器发展史上有重要地位，现分述如下：

种类多　我国古代天文仪器有测角类的，如表、圆仪、浑仪、简仪、仰仪等；有测时类的，如圭表、晷仪、日晷等；有守时类的，如漏壶、更香、称漏等；有演示性的，如浑象、假天等。此外还有综合型的，集测时、守时、报时、演示于一体，如开元水运浑天、水运仪象台等，显示了多样性。

制作精　历代制作天文仪器多为皇室所差，创制者多为国内名家，由皇室征召来京制作。工艺精湛，选料考究，无论是木制、铁制、铜制，都采用国内最新的技艺，刻度、分划、尺寸大小无不通过计算事先确定。漏壶中所用的水，其温度、洁度等都有特别要求，甚至代之以水银，这种一丝不苟的态度造就了精美的仪器。

构思巧　这更是中国古代天文仪器的一大特色。多表并用，窥管中央置横丝，黄道在赤道上可移动的黄道游

仪，应用小孔成像原理制作的仰仪、景符，仪器座基上的水平槽等，无不显示其巧夺天工。至于漏刻系统中采用的漫流装置、虹吸装置，刻箭随季节的变化，水运浑天系统中采用的擒纵器，可掀开的屋顶等等，更显示其巧妙的创造性。

用途广　单从种类齐全就可以看出此点，更有甚者，一种仪器可有多种用途。简单的一根表可测时间，亦可定方向，再加一根游表又可测角度；正方案就是一块画有若干同心圆的方板，平置可当圭表使用，侧立又可测角度；仰仪既可测太阳坐标，又可供观测日食用，可观亏起方位和食分大小；安装有几种坐标系统的浑仪，可测天体的赤道坐标，亦可测黄道坐标（一种以赤极为极的假黄道坐标），甚至还可以测地平坐标，通过计算求其白道位置等。至于综合性的仪象台，更是集多种用途于一身。由于构思的精巧，致使用途多样而广泛。

装饰美　这一点使我国的古代天文仪器成为东方文明的象征之一。著名的浑仪和浑象，不仅是举世闻名的科学仪器，亦是精美的工艺制品，仪器座基和支承架上装配的云龙图饰，栩栩如生，精美绝伦，即使到现在，仍使国内外参观者叹为观止。以现代工艺仿古代浑象制作的珠玉浑天象在国际展览中引起轰动；我国传统科学技术展览会上展示的浑仪和浑象模型使多少人以跟它们合照一张相为荣。这些装饰成为研究我国古代铸造技艺和东方传统工艺美术的好材料。

规模大　由于有皇室的主持，大规模仪器的制造有了物力和财力的保证，单宋代制作的四件大型浑仪，每台都重约1万公斤，加工过程中使用的铜更不计在内。元初建造大都天文台，铸造了十几件一套的大型天文仪器，成为当时世界上规模最大、仪器最齐全最先进的天文台，可见其制作规模。

天象记录

天象记录，是中国古代天文学留给我们的一份珍贵遗产，它内容丰富，系统性强，延续时间长，观察和记录详细，这无疑像延长了我们的寿命，使我们看到了古代的天空，为我们追踪天体的变化提供了无可替代的历史信息。可以说这份古天象记录的整理、发掘和研究，为天文学史的研究开拓了新的领域。

由于编制历法和宫廷星占的需要，正常天象和异常天象都成为古代天象记录的内容，特别是后者的出现更引起关注，观测记录尤为详细，正是这类异常天象为现代天文学提供了历史上天体变化的信息。而正常天象遂成为检验现代天文理论的历史观测资料。本世纪以来，它们逐渐为世界天文学界认识和重视，利用这批古记录已取得了不少研究成果。

综观目前收集整理的资料，计有日食约 1000 次，最早为公元前 8 世纪；月食 900 多次，时间相当；太阳黑子约 100 次，最早为公元前 1 世纪；彗星 500 多次，最早为公元前 613 年，其中对哈雷彗星从公元前 240 年到 1910 年共 31 次回归，每次都有记录；流星雨约 180 次，最早为公元前 687 年，至于流星和陨石，更是不绝于书；新星和超新星约 90 次，最早为公元前 134 年；五星联珠 10 多次；太白昼见

约1000次。此外，还有极光、黄道光、变光星、变色星及怪星等记事。

这些天象记录以其丰富和系统延续时间长已在科学上显示出重要的价值，同时也反映了我国古代天文学者勤于观察、精于记录的工作作风。观测唯勤，探微唯精；前人记实，后人求真。相信在今后深刻探索宇宙的过程中，我国古代丰富的天象记录定会发挥更大的作用。

宇宙理论

宇宙理论，这是古代天文学家、哲学家、思想家对宇宙问题的种种思考，这里虽然有不少思辩的成分，还有唯心主义的思想影响，但是也包含着辩证的唯物主义因素，有些认识确是不无见地的。在天和地的形状和相互关系、宇宙结构问题上，为了解释天体的周日和周年视运动而提出的种种假说，尤其是浑天说和宣夜说的某些观点是有积极意义的；关于气的作用引起天体运动而不需要上帝的帮助的观点，不能不认为是唯物主义的思想因素；关于宇宙在空间和时间上无限的观点至今仍为许多人接受。在宇宙本源和天体演化方面，有唯物主义的五行相生说和神话传说中开天辟地的故事，天地乃是从“混沌”中开辟出来，并非从虚无中由上帝创造出来，并且后来“天日高一丈，地日厚一丈”，也不是上帝在起作用；关于天地的生成和消亡，提出了天地是物，物有消亡，天地亦可消亡的思辩，认为亡于此还可以生成于彼，并不归于虚无。在天体的演化过程中，还提出由于气的阴阳两种属性，引起轻清者和重浊者有不同的运动和温度，运动过程中还可能产生碰撞、摩擦等情况，致使形成不同属性的天体。这些思想和认识在当时的世界上都是很出色的，至今仍在我国古代思想宝库中有其地位。

二十四史中天文律历诸志

自从司马迁著《史记》以来，形成了历代为前代撰写史书的传统。从《史记》至《明史》共24部，总称二十四史，如加上《新元史》则称二十五史。清亡后曾撰写了《清史稿》一部，是未定之稿。在二十四史中不但记载历代史实，还有关于天文、律历的大量内容，是研究中国天文学史的主要资料来源。

二十四史中有十七史专门著有天文、律历、五行、天象诸志（其中有十史的五行志与天文学无关），它们是：

《史记》：天官书、历书、律书；

《汉书》：天文志、律历志、五行志；

《后汉书》：天文志、律历志、五行志；

《晋书》：天文志、律历志；

《宋书》：天文志、历志、律志、五行志；

《南齐书》：天文志；

《魏书》：天象志、律历志；

《隋书》：天文志、律历志；

《旧唐书》：天文志、历志；

《新唐书》：天文志、历志；

《旧五代史》：天文志、历志；

《新五代史》：司天考；

《宋史》：天文志、律历志；

《辽史》：历象志；

《金史》：天文志、历志；

《元史》：天文志、历志；

《明史》：天文志、历志。

此外在《清史稿》中有时宪志，专讲时宪历法，可供参阅。

《史记·天官书》总结了西汉以前的天空知识，详细叙述全天星官星名，全天五宫及各宫恒星分布，共列出90多组星名，500多星，但其名称往往与后世有异，为研究星名沿革提供了信息。《天官书》还指出北斗与各星宿相对应的关系，根据北斗的观测可判定各星宿的位置。关于恒星大小和颜色的描述表示了恒星亮度与温度，这是我国古代有关恒星物理性质的难得资料。同时在《天官书》中还叙述了众多的天象、彗孛流陨、云气怪星等等，描述了它们的形状和区别，并记下了“星坠至地则石也”的认识；此外五大行星的运动规律，日月食的周期性，二十八宿与十二州分野都在这里有首次记载。

《汉书·天文志》，马续撰。关于全天恒星统计有118官，783星，但其文字同于《史记·天官书》。其他关于五星运行，日有中道，月有九行，异常天象等均有同天官书相似者。但该志中详细记录了各种天象出现的时间，尤其是行星在恒星间的运行、太白昼见、彗孛出现的时间和方位。

《后汉书·天文志》，司马彪撰，也继续记载这一系列天象。两书的五行志则着重记述日食、月食、日晕、日珥、彗孛流陨之事，特别对日食的食分和时刻有详细记载，对太阳黑子出现的时间、形状做出了很有价值的描述，是早期天象记录的重要来源。

《晋书·天文志》，唐李淳风撰，是天官书以来最重要的一篇天文学著作，虽比《宋书》、《南齐书》、《魏书》的天文、五行志晚出，但它的内容丰富，基本上是晋以前天文学史的一个总结。其中有关于天地结构的探讨，浑天盖天宣夜之说及其他三家论天学说，各说之间的争论和责难；有各代所制浑象的结构、尺寸、沿革情况；有全天恒星的重新描述，计283官，1464星，为陈卓总结甘石巫三家星以后直至明末之前我国恒星名数的定型之数；有银河所经过的星宿界限；十二次与州郡与二十八宿之间的对应关系；还有各种天象的观测，首次指出“彗体无光，傅日而为光，故夕见则东指，晨见则西指”，正确认为彗星是因太阳而发光，彗尾总背向太阳的道理；最后还记录了大量天象，使历代天象记录延续不断。

《隋书·天文志》，亦李淳风所撰。关于天地结构，全天星宿的内容与晋志颇有相同之处，盖因出于一人一时之笔。但隋志详论浑仪之结构和踪迹，首次描述了前赵孔挺和北魏斛兰等人所铸浑仪，留下了早期浑仪结构的资料，难能可贵。《隋书》又论述了盖图、地中、晷景、漏刻等内容，记录了一日十时，夜分五更的制度。第一次列举交州、金

陵、洛阳等地测影结果，指出“寸差千里”的说法与事实不符。书中还引述姜岌的发现，“日初出时，地有游气，故色赤而大，中天无游气，故色白而小”，这与蒙气差的道理相合。又引述张子信居海岛观测多年，发现太阳运动有快有慢，行星运动也不均匀，提出感召向背的原因来给予解释。这都是我国天文学史上的重要发现。

新旧唐书出于不同作者，详略各有不同，可互为参阅。两书天文志详论了北魏铁浑仪传至唐初已锈蚀不能使用，李淳风铸浑天黄道仪，确立了浑仪的三层规环结构，又考虑白道经常变化的现象，使白道可在黄道环上移动，后来一行、梁令瓒又铸黄道游仪，使黄道在赤道环上游动象征岁差。新旧唐书天文志记载了两仪的结构和下落，并列出了一行测量二十八宿去极度的结果，发现古今所测有系统性的变化。两书天文志还记载了一行、南宫说等进行大地测量的情况和结果，发现“寸差千里”之谬，并发现南北两地的影长之差跟地点和季节均有关系，改以北极出地度来表示影差较为合适。两书天文志还以较大篇幅记载唐代各种天象，互有补充。特别应提出《旧唐书·天文志》记录了唐代天文机构的隶属关系和人员配置，相应的规章制度，尤其是规定司天官员不得与民间来往，使天文学逐渐成为皇室垄断的学问。这一资料对研究中国天文学史非常重要。新旧唐书天文志是晋志以后的重要著作。

新旧五代史也出自两人，仅记日月食、彗流陨之天象，然旧史天文志较详尽。

《宋史·天文志》卷帙浩繁，除详细叙述全天恒星、记录宋代各种天象外，卷一介绍了北宋制造浑仪及水运浑象、仪象台的简况，有熙宁七年沈括所著浑仪议、浮漏议、景表议三篇论文的全文，是天文学史的重要资料。宋、辽、金三史以金史文笔最为简洁，但金史将天文仪器的内容放在历志里，似无道理，它叙述了宋灭后北宋仪器悉归于金，并运至北京，屡遭损坏的情况，对仪器的沧桑变迁提供了有价值的史料。

《唐书·天文志》以后较为重要的当推《元史·天文志》，这里详细记述了郭守敬创制的多种仪器，元代四海测景的情况和结果，还有阿拉伯仪器的传入，集中描述了七件西域仪象，是明以前对传入天文仪器最集中系统的资料。

《明史·天文志》则是中西天文学合流之后记述这一情势的重要资料，许多内容当采自崇祯历书。这里有第谷体系，日月行星与地球的距离数据，伽利略望远镜的最初发现，南天诸星北半球之中国不可见者，西方的一些天文仪器、黄道坐标系，等等。当然，各天文志中均有传统的天象记录，保证了中国古天象记录的完整性。

二十四史律历志中的律主要内容是音律，与天文学关系似不密切，故目前天文史界对此很少研究。

历是中国天文学史的主要内容，各史历志是有关中国历法史的资料源泉。从史记历书以来，各史中均详细记载了一些历法的基本数据和推算方法，还有相应的历法沿革、理论问题等。

二十四史所载历法

史记·历书	历术甲子篇
汉书·律历志	三统
后汉书·律历志	后汉四分
晋书·律历志	乾象、景初
宋书·历志	景初、元嘉、大明
魏书·律历志	正光、兴和
隋书·律历志	开皇、大业，皇极
旧唐书·历志	戊寅、麟德、大衍
新唐书·历志	戊寅、麟德、大衍、五纪、宣明、崇元
旧五代史·历志	钦天
新五代史·司天考	钦天
宋史·律历志	应天、乾元、仪天、崇天、明天、观天、统元、统天、乾道、淳熙、会元、统天、开禧、成天
辽史·历象志	大明
金史·历志	重修大明历
元史·历志	授时、西征庚午元历
明史·历志	大统、回回历

除此之外，不少历志中还有一些其他历法的基本数据和有关内容，可以了解这些历法的大体情况。在历法推算之外还有一些有关历法沿革和改历背景方面的资料，《后汉书》中有太初历与四分历兴废时期的情况，如贾逵论历、永元论历、延光论历、汉安论历、熹平论历、论月食等篇；《宋书·历志》中有祖冲之与戴法兴关于历法理论问题的辩论；

《新唐书·历志》中有大衍历议；《元史·历志》中有授时历议；《明史·历志》中有历法沿革、大统历法原等，这些都是很重要的篇章。对于研究中国历法史来说，这些都是必不可少的资料。当然，要逐一弄懂弄通这些内容非一时可就，这其中有资料本身因年湮代久、传写讹误缺漏造成的疑难，也有古人讨论问题的背景不清等因素，因而许多问题至今没有明确的看法和解释，如《三统历》中的世经，大衍历议中日度议等，都有许多困难之处。但是，对于历法的推算，只要按期选出若干典型历法，做解剖麻雀式的精读、分析，还是可以逐一了解这些历法的原理和步算方法，达到贯通的目的。

二十四史中除上面列举的天文、律历、天象、五行诸志外，还有些篇章中也有关于天文学的内容，如帝纪中就有不少重要的天象记录以及这些天象发生前后的一些情况，在礼、祭祀、职官、经籍、艺文等志中有天文机构、天象祭祀、天文书籍的资料；在列传中的方技、儒林、艺术、文苑、文学等部分有许多天文学家的传记，为研究天文学家和他们的著作、贡献提供了依据。因此，二十四史确实是中国天文学史的资料宝库。

《周髀算经》中的天文学

《周髀算经》，原称《周髀》，唐初加“算经”两字。它同其他九部算书共同被列入唐朝官学的算学教科书，总称十部算经。卷首借周公与商高的回答讲述勾股之义。据考证，成书于公元前1世纪的西汉末或东汉初年，但其中也有更早的一些资料。《汉书·艺文志》中没有此书，《隋书·经籍志》天文类首列《周髀》一卷，赵婴注，又一卷甄鸾重述，《唐书·艺文志》有李淳风释《周髀》二卷，与赵婴、甄鸾之注列在天文类，但在历算类中又有李淳风注《周髀算经》二卷，其实本为一书。从这一演变可知原著只一卷，又经各家注释，遂成为二卷，内容涉及天文、历算，故在唐书中分列于天文、历算两类中。

《周髀算经》是我国最早的一部天文学著作，也是最早的一部算学著作，但关于算学的内容只占小部分。本书从勾股定理（商高定理）开始，叙述了勾股测量，天地尺寸，日月运动，盖天学说，历法，二十八宿距度，各节气晷影，北极璇玑等等。对于了解2000多年前的天算知识，实为最可宝贵的资料。但不少研究者也指出，书中的许多数据和立论常有矛盾之处，读者不可不详加鉴之。

中国的勾股定理这里有最早的记叙，称直角三角形两直

角边分别为勾、股，斜边为弦，发现了勾三股四弦五、勾股平方和为弦之平方的关系，故已知其中二项可求第三项。利用这一定理，在测量中可完成许多任务，“平矩以正绳，偃矩以望高，覆矩以测深，卧矩以知远，环矩以为圆，合矩以为方”。用立表测影的方法可度量天地，给盖天学说以数量化的概念，这里用了二项假设，即地面是平的和南北二地相距千里影长相差一寸。这样的假设是靠不住的，因此在《周髀算经》中有关盖天说的天高地广尺寸都发生了自相矛盾之处，其中大地是平的这一假设就同盖天说本身关于地体中高外低的形状相矛盾，至于“寸差千里”之说，也为后代人的实际测量所否定。

《周髀》中关于北极四游的测量数据和阳城冬夏至影长数据也互相矛盾，使人费解。此外，太阳在不同节气的出没方位，昼夜交替，四季昼夜长短变化的原因，在《周髀》书中有一种巧妙的解释，这反映了那时以前人们的思想和认识水平，是煞费苦心的，但仔细推敲其论据也有许多不合理之处，这在本书的第五章中将详细论及。

应该提到《周髀》书中还有利用一根定表和一个游表在地面上测量二十八宿距度的方法，虽然这个方法测得的是二十八宿地平经度差，而书中误为赤道经数差，但这一方法可能是古代的留传，而书中的二十八宿距度值也是早些时候留下来的测量值，这为我们研究秦汉之前的赤道坐标系统和测量方法乃至浑仪的发展提供了信息。

在星图发展史上，《周髀》也有重要地位，这是因为书

中提到“青图画”和“黄图画”二样东西，其中的黄图画上有冬夏至和春秋分日道，又画有二十八宿和其他星象。这实际上是一幅以北天极为中心的全天星图，后人称这种形式的星图为“盖图”，西汉末年杨雄就提到这种盖图，而中国古代全天星图以盖图的形式流传最广。

《周髀》历法其数据与战国秦汉间的四分术相同，而比太初《三统历》为早。年长 $365\frac{1}{4}$天，19 年七闰共 235 月，故一月长 $29\frac{499}{940}$天。注重冬至日在牵牛初度，与秦及汉初行用的颛顼历注重立春日在营室显然不同。因此这也是关于先秦历法的重要资料。

《灵宪》

《灵宪》一书，东汉著名科学家张衡所著；见于《后汉书·天文志》中刘昭作的注。赵君卿在《周髀》序中说："浑天有《灵宪》之文，盖天有《周髀》之法，累代存之，官司是掌。"说明《灵宪》是浑天学说的代表作。其实，除了浑天学说之外，《灵宪》中还有许多天文学内容。

关于浑天学说的天地结构，《灵宪》中描述了一个天圆地平的模型。天是一个大圆球，地在其内，占据了下半个球，地面是平的，天球上有日、月、行星和恒星，恒星组成二十八宿，分布于四方，曰苍龙白虎朱雀玄武，中央轩辕之神。日月之径千里，出东入西，故天球东西增广千里，南北短减千里，这一基本思想成为后代浑天学说的基础。当然，这里也有盖天说的成分，如日影千里差一寸之说。

《灵宪》中还有宇宙起源的各阶段认识，最先为道根，经历太素以前的很久时间，道根既建，太素始萌，浑沌不分，又经历很久时间，是为道幹；道幹既育，有物成体，刚柔清浊分判，天成于外，地定于内，天圆而动，地平而静，这为道实。道根、道幹、道实的阶段论以动态的观点认识宇宙的原始，这比传说的故事前进了一步。

在研究《灵宪》这一篇天文学作品时，总会感到一些

矛盾之处，这正是该文的缺陷或不成熟之处。前已提及这里有浑天学说的基本思想，却又有盖天说的假设前提；书中有关于月食成因的最早解释，认为地影掩盖了月亮；但又说地影遮掩了恒星，星光也会微弱；讲到天体丽附于天，天运左行，而丽乎天的日、月、五星周旋右回，其运动有快慢是与天远近不同所致，又不丽附于天了。凡此种种，因而对它的研究和应用还要审慎地做些鉴别。

《乙巳占》

《乙巳占》，唐李淳风撰，《新唐书·艺文志》载是书十二卷，但宋以后的著作如《玉海》、《直斋书录解题》等均言十卷。观现存之《乙巳占》十卷100篇，前九卷均万言左右，而第十卷有3万字33篇，疑后人将末三卷拼成一卷，以致与唐书卷数不符。

前八卷50篇基本上是天文星占内容，包括天体、太阳、月亮、行星、流星、彗星的占卜条文；后二卷是云气、风方面的占验，有不少气象学的知识，是气象史的资料。关于天文学的部分涉及面很广，李淳风年少时研读星占著作，做了大量笔录，大业年间（605—617）隋炀帝昏暴统治，致许多古籍失传，因而他将数十种古籍分类编纂，写成《乙巳占》。星占条文多来自古代星占书，而关于天文、历法、仪器等内容多是他本人的研究，因而这对了解李淳风的科学成就很有裨益。

李淳风在书中提到了他的著作《历象志》，此书现已失传，其内容是一种未经行用现在鲜为人知的历法。其创作可能在麟德历（665）之前的贞观三年（629），此时他才27岁。《乙巳占》中引录了这一历法的基本数据和推算方法，包括回归年、朔望月长度、岁差值、五星会合周期和各星运

动速度，而详细内容在已失传的历象志中。关于星占学的内容除了大量天人感应的糟粕，也还保存了一些天象记录、行星视运动轨迹的描述和古代天文学名词的含义，如表示两天体距离的“度”与“寸”之间的关系，一度约相当于七寸；行星与月同经度而在月上方一度之内为“戴”；行星从留转而逆行曰“勾”；再“勾”即又转入顺行为“巳”等，这些内容对古代天象记录的理解很有帮助。

《开元占经》

《开元占经》，亦称《大唐开元占经》，瞿昙悉达撰，成书于开元六年至十四年（718～726），共一百二十卷。唐以后失传，直至明万历四十四年（1616）才由安徽歙县人程明善于古佛腹中重新发现，得以流传至今。瞿昙氏为祖居长安的印度血统天文学家，他们一家数代供职于唐司天监，在天文历算方面颇有影响，单凭《开元占经》一书就可见他对中国天文学和中印文化交流的重大贡献。

《开元占经》内容丰富。首卷引录了张衡的《灵宪》和《浑仪图注》两篇文献，接着叙述了唐之前各家对天的认识和描写，可算是唐以前的天文星占大全，论天诸家的看法在这里有综合性的叙述，关于浑仪、浑象也有许多资料。后面关于日、月、恒星、行星、彗流陨、客星、云气、物异等的星占条文收集了当时可见的70余种著作，分类编录，使许多现已失传的书籍能知其大概。

除了大量的星占学内容，书中有许多天文历法的宝贵史料。战国时代著名天文家甘德、石申的著作已失传，《开元占经》中留下了石氏测量恒星坐标的资料，经辑录成石氏星表，有120多个星的赤道坐标，这是世界上最早的星表，由此还可以推测战国时代的观测仪器和方法以及浑天学说的

历史。书中关于二十八宿距度的记载，特别保留了古度的数据，这也揭示了汉以前二十八宿的演变情况。

关于历法，秦以前的《古六历》是佚失已久的了，它们的积年和一些基本数据却可在《开元占经》中找到。当时行用的《麟德历》，虽有唐书历志的详细记载，但《开元占经》中的《麟德历》经却补充了唐书的不足，有些数据校勘可得到此书的帮助。尤其有价值的是《开元占经》中翻译了印度的《九执历》，把印度的天文学知识传到中国，目前研究印度这部历法，最重要的资料就是来自中国的这部占经。在数学方面，印度学者编算的正弦函数表也在此首次传入中国。

同《乙巳占》一样，《开元占经》中也有大量占语，是迷信的东西，但它同样也是研究星占术的资料，从中还可以知道不少古天文术语和名词的含义。《开元占经》大量引用的各家占语是从战国以来中国星占术情况的一个线索，它可以帮助我们了解各代星占家的思想，这些天文星占家的工作和当时的天文知识水平。

《观象玩占》

《观象玩占》，撰者姓名不详。卷首有全天盖天式星图1幅，后分别为天、地、日、月、恒星、行星、彗流陨及云气、风角等占验条文。观其文，受《乙巳占》影响极大，许多地方均引《乙巳占》和“李淳风曰”等文字，卷首的星图与北宋《新仪象法要》星图和南宋苏州石刻图均不一致，其各恒星的占文比《乙巳占》和《宋史·天文志》均详尽。书中占验天象记录颇多，但只引至唐末天福（复）二年（902），当为唐以后撰成。书中没有引用《开元占经》的文字，恐系撰书时《开元占经》已不可见。《唐书》、《宋史》、《文献通考》等均未著录，只《明史·艺文志》录《观象玩占》十卷，不知撰者，或言刘基辑，然现传世之抄本有五十卷，《四库总目提要》中提及各种抄本和刻本。据所见抄本来看，《观象玩占》之作恐在唐宋之间，后人屡有传抄并逐渐加大篇幅，但所引占验天象仅迄于唐，其占文仍保留了较古老的状态，是研究宋之前星占术的资料之一。

《甘石星经》

《甘石星经》，又称《星经》或《石氏星经》。甘德和石申是战国时人，齐国甘德、魏国石申，亦有说石申为楚人的，他们是当时著名的天文学家，甘德著有天文八卷，石申著有天文星占八卷，现均失传。后人将一些古书中引录的片断重新辑录起来，遂称为《甘石星经》。除以星占条文为主外，各人都记录了一些恒星的名称、方位，互有交叉，故到三国时代天文学家陈卓将甘德、石申、巫咸三家所记的恒星汇总起来，共得全天 283 星官、1464 星，并以三种不同的颜色标在星图上。后代人依此绘制星图，制造浑象上的星象，成为古代全天星官名数的定型之数。考甘、石诸家的星名和分布，可见各家所记的星略有不同，可能流通地域也不一样，形成的先后也各有不同。

《星经》中最有意义的一项是最早的一份全天星表，列出 120 多个星的赤道坐标，以入宿度（相当于赤经）和去极度（赤纬的余角）表示，系来自《开元占经》的引录。这一星表中有不少数据是战国时的测量结果，表明石申已利用了测角仪器在赤道坐标系统中进行了天体位置测量，这一成绩表明了我国战国时代的天文学水平和仪器制造水平，这一星表也是世界上最早的。

《步天歌》

隋代丹元子著，又有说唐王希明所撰。《隋书·经籍志》中未著录，《新唐书·艺文志》中首次著录，称“王希明《丹元子步天歌》一卷”，有人认为丹元子是王希明的号。从《步天歌》的内容来看，它按三垣二十八宿的区划分割全天星空，同李淳风所著晋隋天文志的分划全然不同，而后代的星空区划与《步天歌》相同，因而认为这是李淳风以后的作品，是有道理的。

《步天歌》是一组诗歌体裁的集子，共有诗31段，三垣二十八宿各一段。七字一句，押韵上口，配有星图，读着诗句就好像漫步在点点繁星之间，“句中有图，言下见象”，便于辨认和记忆全天星名，是学习天文学的进阶书。因此，它成为历代天文机构中训练初学者的必读教材，民间也以它作为认星的指南，流传极广。另一方面，它把全天星空区划成31个大区，类似于现代的星座，对后世的影响也很大，因此，虽然《步天歌》是一首普及性的天文诗歌，但它在中国天文学发展史上确实发挥了不小的作用。

《灵台秘苑》

原为北周庾季才撰，据《隋书·经籍志》载有一百二十卷，后又有说一百一十五卷者，但现本仅有十五卷，北宋王安石等人重修。卷首有步天歌，配以星图，后按三垣二十八宿体系分别叙述各星位置，附各种星占条文。

本书的价值在于有一份星表，共345星，以入宿度和去极度表示赤道坐标值，是我国继《石氏星经》后的第二份星表。从星表的研究分析可知，这份星表的观测年代约在北宋皇祐年间（1049～1053），它可以同北宋的其他恒星观测对比，探讨北宋恒星观测的水平。

《浑天仪图注》

《浑天仪图注》，又称《浑天仪注》，是张衡为首创的漏水转浑天仪所写的一本仪器结构说明书，它不仅是浑天学说的重要著作，也是我国第一本天文仪器著作。

浑天仪即浑象，是一种演示天象变化的仪器。张衡之前已有人制造，但张衡把漏壶同浑象联接起来，利用漏水计时的均匀性使浑象均匀运转，自动地表现天象，故称漏水转浑天仪。浑象部分是圆球状，四分为一度，直径四尺六寸多，上有南北极，转动轴沿此方向，两极出没于地平36度，周围有恒显圈（上规）和恒隐圈（下规），中有赤道和黄道，斜交24度，赤道距天极91度多。黄赤道上有二至二分点，各有它们的去极度数。为了说明这个结构，《浑天仪图注》先讲了浑天学说的天地模型：天体如弹丸，地如鸡中黄，天大地小，天包地，地在天中，天一半在地上，一半在地下，天地各乘气而立，载水而浮，等等。这些看法成了浑天学说的基本观点。

关于仪器的用途，《浑天仪注》讲述了利用黄赤道的关系考察黄道进退数度，进行黄赤道换算。这一点在历法计算中很重要，因为太阳循黄道运行，当时认为是均匀地一日行一度，但用赤道来度量会是不均匀的，其差数就是黄赤道

差。由此还可解释二十八宿的赤道距度同黄道距度的不同。

在《初学记》中还引录了张衡漏水转浑天仪的另一部件漏壶，张衡使用了二级漏壶，用来补偿因水位变化而致漏水不均的缺陷，这一发明开创了补偿式漏壶的先例。此外，在《新仪象法要》卷上的“进仪象状”中，又记叙了张衡水运浑象的效果，“置密室中以漏水转之，令司之者闭户唱之，以告灵台之观天者，璇玑所加，某星始见，某星已中，某星今没，皆如符合。”这一创造对后世的影响极大。

《新仪象法要》

《新仪象法要》，三卷，北宋苏颂撰，这是又一本天文仪器专著，讲述水运仪象台的结构和原理，并附若干零件图样共60幅。

卷上开头有进仪象状1篇，讲述制造水运仪象台的始末和参加设计制作的人员，详细回顾了水运浑象从张衡开创以来历经唐一行、梁令瓒及宋张思训等人的改进，指出苏颂、韩公廉制仪象台的创新之处，是一篇水运浑象史。接着介绍浑仪的各种结构，17幅图分别讲各零部件的名称、尺寸、作用，这是最详细的一篇讲浑仪制造的资料。

卷中介绍浑象的外形、结构，也是分零部件逐件介绍，附图18幅，其中有浑象上面全天恒星的星图5幅。这5幅星图分成两个系统，一是以北极为中心的紫微宫（拱极区）星图，配之赤道带的横图，对于北半球的观测者来说，北极区和赤道区都比较明晰；二是以赤道为分界的南北两天球星图，这种图克服了我国传统的盖天式星图的缺点，使南天诸星的位置失真不大，但由于南极区在北半球看不到，故图上空白，这在我国古星图中是首次出现。

卷下详细介绍了水运仪象台的动力系统和报时系统各零件的形状、尺寸，有图25幅。报时系统能灵巧地报时，以

钟、鼓、铃三种音响表示时刻，还有木人持牌显示时刻，主要利用了各种齿轮传动装置。动力部分是漏壶。为了控制漏水的动力使仪象匀速转动，发明了卡子，即擒纵器，是现代机械钟表的关键部件。

《新仪象法要》是一本极有价值的天文仪器著作，同时也是一本机械工程著作，对揭示我国北宋时代的天文学和机械技术水平有重要的意义，所以它受到了国内外学者的高度重视。

《畴人传》

《畴人传》，清阮元编，1799 年编成，共四十六卷。收集历代天文学家、数学家的生平事迹和科学成就的资料，每人 1 篇共 314 人（其中附记 34 人），并附有简短的评论。这本书是关于天文学家数学家的专题资料集，辑录的都是史书中的原始资料，对天文学史历法史的研究很有帮助。在阮元的影响和赞助下，1840 年罗士琳续编《畴人传》六卷，跟阮元所编连续排卷，共增 45 人得五十二卷。1886 年诸可宝又编出三编七卷，128 人，体例同阮、罗相同，又将 1884 年华世芳所记的“近代畴人著述记”作为附录列于后。1898 年，黄钟俊编了第四编十卷，436 人，前后四编六十九卷共 900 多人，其中清之前大多是相当著名的人物。

阮元是位守旧派学者，他对当时从欧洲传进的西方天文学知识持抵制态度，在他对一些天文学家的评语中可以看出他的这一倾向，但是他对另一些人的评语是不无道理的，因此在读他的评语时应持分析态度。此外，该书尽量收集原始资料，给研究者提供资料线索，这对初学者无疑是非常有价值的一部参考书。

表和圭

表

表就是直立在地上的一根竿子，是最早用来协助肉眼观天测天的仪器。圭是用来量度太阳照射表时所投影子长短的尺子。两者结合在一起用时，遂称为圭表。从史料记载和发展规律来看，表的出现先于圭。

80年代初有人对甲骨文中有关“立中”的卜辞做了系统分析，认为这是殷人进行的一种祭祀仪式，是在一块方形或圆形平地的中央标志点上立一根附有下垂物的竿子，附下垂物的作用在于保证竿子的直立。在四月或八月的某些特定日子进行这种“立中”的仪式，目的在于通过表影的观测求方位、知时节。这就表明在殷商时代人们已知立表测影的方法了。当然，在殷商之前，由于太阳的出没伴随着昼夜的交替，从原始社会起人们就知道判别方向应同太阳升落有关。早在新石器时代的墓葬群中，考古学家已发现其墓葬头部都朝着一定的方向：西安半坡村朝西，山东大汶口朝东，河南青莲岗各期朝东，或东偏北、东偏南。这显然同日月的升落有关，只是因为我们现在还不知道他们是如何定出这些方向来的，只好将表的出现暂定为殷商有文字可考的时代。

殷商时代已知道用表来观看太阳影子的旁证还有甲骨文

中表示一天之内不同时刻的字。这些字都同日有关，如朝、暮、旦、明、昃、中日、昏等等，其中“中日”与“昃”二字更是明确表示日影的正和斜，是看日影所得出的结论。这一点同时也说明了表的一个用途，即利用表影方位的变化确定一天内的时间，这便是后代制成日晷的原理。

圭

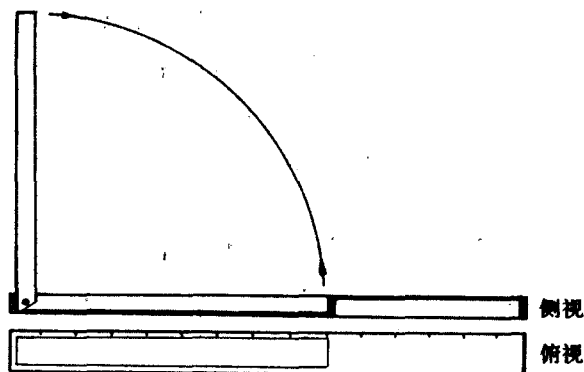
关于圭的出现，在甲骨文中未见“圭”字，而详细记录有圭表测量的书是《周礼》、《周髀算经》、《淮南子》等，它们成书较晚。《周礼》一般认为成书于战国，其中《考工记》篇，相传是春秋末齐人所作。后二书则成书于西汉时代，因而一般人多认为圭的出现要在春秋战国时期。按许慎《说文解字》，圭是做成上圆下方的美玉，公侯伯子男所执之圭有九寸、七寸、五寸之不同。因而圭的长短就是各人身分的标志，换句话说，圭就是度量身分的尺子。

在《周礼》一书中多次出现了“土圭”和“土圭之法”二词。有一种看法认为，“土圭”是用赤土做的标准尺，以避免尺的大小随官方规定和地方习惯而不同，“土圭之法”即以这样的尺为样板来度量日影。这一制度未坚持到底，不过在某一意义上来说，它是现代铂制米原器之类量具的先声。另一种看法认为，“土圭”即度圭（土，犹度也。周礼·郑注），是石制的天文仪器，南北方向平放在地上，中午时量度太阳影子的长短，“土圭之法”就是观测中午日影长度以定时令。

笔者以为，圭本身是一种表示官阶身分的标志，而

“土圭”则是用于量度的圭，《周礼》中的《考工记·玉人》记载了土圭的制造和用途：“土圭尺有五寸，以致日，以土地。”使用土圭的“土方氏掌土圭之法，以考日景，以土地相宅，而建邦国都鄙。”管理土圭的“典瑞氏掌玉瑞玉器之藏……土圭，以致四时日月，封国则以土地。”《地官·司徒》载：“大司徒之职，以土圭之法，测土深，正日景，以求地中……日至之景，尺有五寸，谓之地中。”这几段记述说明用一尺五寸的圭去进行度量，求得时间和季节，也可求地方的南北所在（如求地中），并未说明圭是同表一起，平放于南北方向而固定不动的。这里也没有提到表的高度，按《周髀算经》提供的数据，一般用八尺之表，则夏至时日影最短为一尺五寸，正好是圭之长。试想，在一年当中除了夏至日，其他时间的中午日影均长于一尺五寸，如果圭是固定的就无法度量日影之长了。因此，“土圭”和“土圭之法”应是从“表”发展到“圭表”之间的一个过渡，就是用一根活动的尺子去量度表影，以后才发展成将圭固定于表底，并延长其长度，使一年中任一天都可以方便地在圭面上读出影长，这才是圭表。

目前我们见到的圭表实物最早当推1965年在江苏仪征东汉墓中出土的铜圭表。表身可折叠存放于圭上专门刻制的槽内，圭上的刻度和铜表的高度均为汉制缩小10倍的尺寸。圭表作为随葬品埋入墓内，说明东汉时代圭表已很普及了。

从表发展成圭表是一个进步，是人们对立表测影要求精确化和数量化的体现。在一块方形或圆形平地的中央直立一

东汉铜圭表示意图

表，可以根据日出和日入的表影方向定出东西南北，也可以根据一天之内表影方向的变化定出一日内的时刻。当然，利用同一根表，每天中午在地上做下记号，以比较表影的长短可以定出一年内的季节，甲骨文中有“至日”或“勿至日”的卜辞，也有“南日告”的卜辞，说明商人已能大体定出冬至日，至于四方和一日内的不同时刻，商代也是明确的。可以说，只要立一根表，不需要借助圭就可以完成上述三项任务。但圭表的出现使精确测量一年中各节气中午影长成为可能，也为精确求得一回归年的长度提供了可靠方法，这些都是制定历法所必需的。

在《周髀算经》一书中还叙述了利用一根定表和一根游表测天体之间角距离的方法：在一平地上先画一圆，立定表于圆心，另立一游表于正南方，当女宿距星南中天时，迅速将正南方之游表向西沿圆周移动，使通过定表和游表可见

牛宿距星，这时量度游表在圆周上移动的距离，化成周天度就是牛宿的距度，也就是牛宿距星和女宿距星间的角度。这里有一个矛盾，按所叙方法测得的是地平经度，而二十八宿距度为赤道经度。这一矛盾给我们一个启发，即战国时代石申测定二十八宿距度和若干恒星的赤道坐标编制“石氏星表”时，测定它们的赤经和去极度是否使用类似的方法，只不过是在赤道面内和子午面内分别测量，而《周髀算经》误为在地平面内测量了。1977 年在安徽阜阳地区出土了西汉初年的一具二十八宿圆盘，上下两盘互相重叠，边缘刻二十八宿距离和周天度数，中有通孔，边有小孔，只要将圆盘分别置于赤道面内或子午面内测量就可完成赤道坐标的测定。这一实物给我们一定的启示，或许测量角度的仪器如浑仪乃是由定表和游表在不同平面内测角距的方法发展而来的。

表，这一最简单最早出现的仪器，后来得到了很大的发展和改进。为了使表影清晰，将表顶做成尖状的劈形或加一副表，与主表之影重合；为了提高表影测量精度，既加高表身，又发明相应的设备景符；为了测定时间，制成日晷，有赤道式的也有地平式的；为了使表不仅能观测日影，使既能观月，也能观星，又发明窥几等等。总之，表及圭在我国古代天文学的发展中起了相当大的作用，是一类重要的古代天文仪器。即使现在，它的定方向、定时刻的功能有时还会给人们帮忙呢！

漏和刻

漏，是漏水的壶，借助水的漏出以计量时间的流逝，是守时仪器。

刻，是带有刻度的标尺，与漏壶配合使用，随壶水的漏出不断反映不同的时刻，属于报时仪器。

漏壶的起源应是相当早的。原始氏族公社时期就能制造精美的陶器，总会出现破损漏水的情况，而漏水的多少与所经时间有关，这就是用漏壶来计时的实践基础。人们从漏水的壶发展到专门制造有孔的漏壶，这一仪器就诞生了。据史书载："漏刻之作盖肇于轩辕之日，宣乎夏商之代。"《隋书·天文志》也道："昔黄帝创观漏水，制器取则，以分昼夜。"轩辕黄帝是传说中的人物，漏壶为他所创不尽可信，但说在夏商时代有了很大发展还可考虑。上节已经说过，殷商时代已知立杆测影，判方向、知时刻。最近也有人研究百刻时制的起源地点，认为在殷商之都安阳的地理纬度上，因而漏和刻的发明不会晚于商代。

英国人李约瑟博士在谈到漏刻时，首先十分肯定地说刻漏不是中国人的发明，因为从楔形文字的记载及埃及古墓出土物中知道，巴比伦和埃及在商之前已用滴水计时。但他在追求中国和埃及亚历山大里亚城的受水型漏壶之间关系如何

时，又感到颇难弄清楚。后来他注意到，公元120年才确实有一批西方使者到达中国，中国西汉时张骞在公元前2世纪到达了中亚地区，而中国的漏壶可上溯到张骞之前，于是他认为中国的漏壶是否从亚历山大里亚城传入还是悬案，甚或可能是从中国传出的，但他很难承认两者是完全独立的发明。最后他提出，大概最合理的说法是双方都是从中亚的新月地带和古埃及传入的。

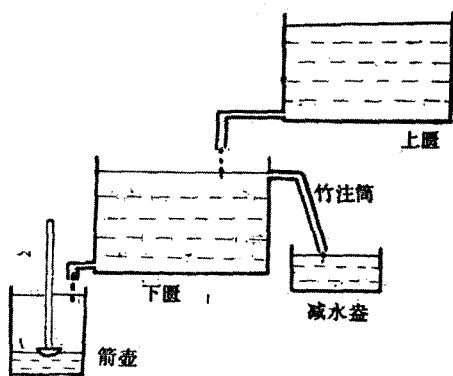
从文献史料和逻辑推理来看，漏的出现当早于刻。在先秦典籍中，早已见到有关漏的记述，而只有在汉代以后文献中才见到有关刻和漏刻的描写。最原始的漏壶不可能有什么节制水流的措施，只是让其自漏，从满壶漏至空，再加满水接着漏。显然满壶和浅壶漏水的速度不同，但一壶水从满漏至空都是大体等时的，如内蒙古杭锦旗1976年出土的西汉漏壶每次漏空大约10分钟，因而计量时间可用漏了多少壶来表示。为了不间断地添水行漏，计数漏了多少壶，需要有人日夜守候，这也许就是《周礼·夏官司马》中提到“挈壶氏：下士六人，史二人，徒十有二人”的原因。

如此众多的人员守候一个漏壶显然是很大的负担，人们必然会产生节制漏水速度的要求，或在壶内壁出水口处垫以云母片，或在漏水孔中塞以丝织物等，使漏水缓慢而又不断，这样每一壶水漏出的时间长了，减轻了不断添水的负担。但是却不能以漏多少壶来计时，而要随时注意漏壶里的水漏掉多少，这就是刻产生的基础。最初可能是在壶内壁上刻画。汉许慎《说文解字》解释漏时说：“漏，以铜受水，

刻节，昼夜百刻。”可能就指这一情况。后来为了便于读数，就放一枝箭在壶里，在箭杆上划刻度，看水退到什么刻度就知道时间了。

由于漏水速度的减慢，改用刻来做计量时间的单位，壶水的满浅影响漏水速率的问题就显得突出起来。可以说，中国漏刻技术几千年的发展史就是克服漏水不均匀、提高计时精度的奋斗过程。其间也有箭舟的创造，沉箭式和浮箭式的使用，称漏的发明以及击鼓撞钟等巧妙的设计。这里：箭舟是浮在漏壶里的小舟，载刻箭以浮；沉箭式是指随着水的漏出，壶里水面下降，箭舟载刻箭下沉而读数；浮箭式是指另用一不漏水的箭壶积存漏出的水，水越积越多，水面升高，箭舟载刻箭浮起而读数；称漏是称漏出之水的重量来计时。但它们都属于报时和显示时间的一类，其报时的准确程度均受到漏水是否均匀的影响。

为了克服壶里水位的满浅影响漏水的速率这一问题，最初想到的当然是不断添水以保持壶里水位的基本稳定，这样沉箭式就不能使用，必然出现浮箭式。不断添水这一工作又是件麻烦的事，因而就出现多级漏壶，用上一级漏壶漏出的水来补充下一级漏壶的水位，使其保持基本稳定。显然，这样的补偿壶越多，最下面一个漏壶的水位就越是稳定。东汉张衡做的漏水转浑天仪里用的是二级漏壶，晋代的记载中有三级漏壶，唐代的制度是四级漏壶。从理论上来说还可以再加，但实际上是不可能无限制地增加补偿漏壶的数量的，因此保持水位稳定这一问题并未彻底解决。

公元 1030 年，宋代科学家燕肃迈出了关键性的一步，他抛弃了增加补偿漏壶这一老路，采用漫流式的平水壶解决了历史上长久未克服的水位稳定问题。这一发明在他制造的莲花漏中第一次使用。莲花漏只用二个壶，叫上匮和下匮，其下匮开有二孔，一在上，一在下，下孔漏水入箭壶，以示浮箭读数，而从上孔漏出的水经竹注筒入减水盎。只要从上匮来的水略多于下匮漏入箭壶的水，下匮的水位就会不断升高，当要高于孔时，多余的水必然经上孔流出，使下匮的水位永远稳定在上孔的位置上，这就起了平定水位的作用，使下匮漏出的水保持稳定。

平水壶示意图

平水壶的发明和使用，是漏壶发展史上的重大成就。自宋代以后，平水壶广泛应用于漏壶中，甚至发展成二级平水壶，使稳定性更加提高。在北京故宫的交泰殿里完整保存了一套乾隆九年（1744）制的漏壶，它采用了一级补偿壶，一级平水壶，将古代漏壶技术的两大途径融合在一起，完成了皇宫里的计时任务。

在解决水位稳定的漫长岁月中，对其他影响漏水精度的

问题也做出了许多发现和改进。其中有保持水温、克服温度变化影响水流的顺涩；采用玉做漏水管，克服铜管久用锈蚀的问题；渴鸟（虹吸管）的使用，克服了漏孔制造的困难；用洁净泉水，克服水质影响流速；采用控制漏水装置“权”，调节流水速度，等等。这些无疑也是中国漏壶发展史上的成就。

由于历代科学家的不懈努力，漏壶技术得到了很大发展，这给我们研究中国漏刻提出了一个重要问题：古代漏壶的计时精度如何？这是一个看来容易实际难的问题，虽有不少人做了很多工作，但迄今为止并没有一致的看法。这固然有许多客观的困难，如古代漏壶实物完整保留至今的很少。（传世的漏壶，仅西汉单壶三件，元代延祐漏壶一套，元明时代漏壶组中的二个单壶，以及清代漏壶一套）刻箭多用竹木制造，存留传世的几乎不见，要模仿古人的用水，操作等程序也不易做到，等等。因此，用模拟实验的方法估计漏壶精度遇到不少困难，只在50年代对故宫交泰殿漏壶做了实验，结果是每小时漏水3．5公斤，每天要漏84公斤水，24小时误差为10分钟左右。这是我们对清代漏壶精度的大体认识。

对于前代的漏壶精度，只能从文字材料中去推求。有人认为，将一天分为100刻的计时制度在商代出现时必须有能读到“刻”的计时工具，而直到西汉时漏刻的精度不会高于1刻。又有人认为东汉时漏壶测量精度可达0．5刻左右（《自然科学史研究》第二卷4期，1983年，第306页），而隋唐以后漏刻精度可达1～2分钟之内，宋代燕肃莲花漏的

误差（指一昼夜的误差）最多约为1分钟。

上述估计问题很多。首先，对东汉漏刻精度为半刻的估计，很难令人信服，这一精度估计的根据是《后汉书·律历志》中载有后汉四分历的冬至日昼夜漏刻之比为45：55，说此值与现代计算的比较，误差在0．5刻左右。按东汉都城洛阳的经纬度计算冬至日太阳出没时刻为7时33分和17时21分，即从日出到日没为9时48分，从日没到日出为14时12分，化为百刻制为40．84：59．16；采用秦汉时代对昏旦的规定，昼夜漏的起点即昏旦与太阳出没相距3刻或2．5刻，这样昼夜漏之比为43．84：56．16，与45：55相差1刻以上。若再考虑天文或民用晨昏矇影，洛阳地区为91分和28分，其结果相差更大，几种算法均得不到误差为0．5刻的结论。

可是，同样是在《后汉书·律历志》中却有另一条记载，永元十四年（102）“据仪度、参晷景”考校漏刻，结果发现“官漏失天者至三刻”，这也许反映了东汉时漏刻的精度情况。有人以为，东汉张衡发明了补偿漏壶，计时精度应有提高，而且晋代有三级漏壶，唐代增至四、五级，精度更要提高，于是估计可达1～2分之内。在《唐书·历志》中有一条资料，回顾梁大同九年（543）虞邝有一段议论：“水有清浊，壶有增减，或积尘拥塞，故漏有迟疾，臣等频夜候中星，而前后相差或至三度。”三度约相当于12分钟不到，这可能代表了那时的精度。

到了宋代，有燕肃平水壶的发明，又有沈括将平水壶增

至二级，漏壶精度当有提高，但说其最多约为1分钟，看来理由并不充足。李广申在1963年曾经著文，认为《新仪象法要》中记昏晓中星和太阳方位用了“弱”、“少弱”等字眼，表明赤经观测精度为1/12度，相当于20秒，以此认为当时漏壶计时精度达20秒。后来李志超在1978年著文，认为沈括的漏壶20秒相应于箭杆上1/4毫米的长度，这是可以达到的读数精度，因而认为20秒的结论是对的。其实，李广申的证据“弱”、“少弱”等词在《后汉书·律历志》、《晋书·律历志》中记载昏旦中星时都已用过，并不能认为东汉、晋代的漏壶精度已达20秒。至于将箭刻的读数精度当做漏壶的计时精度，这其间包含有概念性误会。当然，箭刻上的读数是由漏壶的漏水决定的，箭刻的刻度越细，读数精度越高，但它同漏壶的计时精度完全是另一码事。打个简单的比方，如果手表每天误差是5分钟，但只要它是长三针的，任何时候都可以读到几点几分几秒，殊不知这个读数与真实时间相去甚远。这只能表示该手表读数精度是1秒，完全不能代表它的走时精度，这个道理是极其明显的。正因为这个原因，任何守时和授时仪器都要同时间标准作比对，得出时号改正和每台钟的日速。日速（一天的快慢量）才是表示计时器精度的量。我国古代虽然没有时间基准、时号改正和日速这样的概念，但很早就知道用测日影和观测恒星的方法同漏刻作比对，以校准漏刻。在这里，圭表测景所得到的真太阳时和观星得到的恒星时被看成了时间基准，古人并不知道这两者之不同，我们也不必苛求。但是，上述问题又

给我们提出了中国漏刻研究中的另一个重大问题，即漏刻如何校准和操作。

这个问题同前一个问题相似，至今也没有统一的说法，这主要是遗留的实物太少，文献记载又不甚清楚，只能从零星的记述中去推考。早在殷商时代已知道立表测景来测知时间，但夜晚和阴雨多云天气就无法观日影了，只能代之以漏壶，这两者同时并用，它们是否一致就必须引起人们注意。最早见到文献中记载表和漏并用的是《史记·司马穰苴列传》，讲到齐景公时（前 547 ~ 前 490 年在位）司马穰苴同贾庄二人约会于中午，司马“立表下漏待贾”，至时贾不到，司马“仆表决漏”，宣布了贾的迟到。

东汉时桓谭（前？ ~56）曾负责漏刻工作。他发现天气的燥湿寒暑影响漏刻的准确，于是在黄昏、黎明、中午、半夜都要校准，“昼日参以晷景，夜分参以星宿，则得其正”。对于沉箭漏来说，水漏完了必须加水重新起漏，加水所需时间迫使漏刻不能连续工作；对于浮箭漏来说，加水可以随时进行，但箭壶的水满了以后要将水倒掉重新接水，退水所需的时间也迫使漏刻不能连续工作。因此，加水和退水的时机要选择好，当然最好选择在校准漏刻的时候，利用加水和退水的时间调节漏刻，对于一天校准四次、二次或一次的漏刻，要设法保证它连续工作 25 刻、50 刻或 100 刻。为了达到这些要求，制漏者必须事先在壶的大小和水流速率方面进行选择和设计，制成后不断进行调正。很遗憾的是，现在我们只能在宋代燕肃和沈括的漏壶中看到很少关于这方面的资料。

跟晷景校准和漏壶精度有关的一件事是沈括是否用漏刻发现了真太阳日不均匀的问题，这个问题引起了不少研究者的兴趣。沈括在《梦溪笔谈》中提到，过去的漏刻家总以为冬日水涩，夏日水利，造成漏刻迟疾，与天运不符。他则从理论上考虑，认为“冬至日行速，天运已期，而日未至表，故百刻而有余；夏至日行迟，天运未期，而日已过表，故不及百刻”。沈括第一次提出了太阳视运动不均匀引起真太阳日（太阳连续二次到达正南方的时间间隔为一个真太阳日）长度不等的问题，这是难能可贵的。但是引起太阳视运动不均匀的原因，除了沈括说的，还有黄道斜交于赤道的原因，这两个原因中国古代早已知之。由于它们的联合作用，真太阳日在12月23日前后最长，为24小时加30秒左右，而最短日在6月13日前后，为24小时不足21秒多，并不正好是冬、夏至日。此外，一年当中只有11月28日至1月15日的49天真太阳日比24小时长20秒以上，9月6日至9月28日的23天比24小时短20秒以上。如果沈括的漏刻每昼夜的计时误差不超过20秒的话，他只能在12月份和6月份作出真太阳日不均匀的发现，其他时间是不可能的。上海天文台的郭盛炽在1979年曾撰文详细分析这一问题，认为沈括发现的漏壶迟疾不能肯定是真太阳日不均匀所引起。笔者认为沈括关于真太阳不均匀的话只是理论上的推测，并未能用他的漏壶做出发现，他的漏壶精度没有达到每天30秒的水平。

浑仪

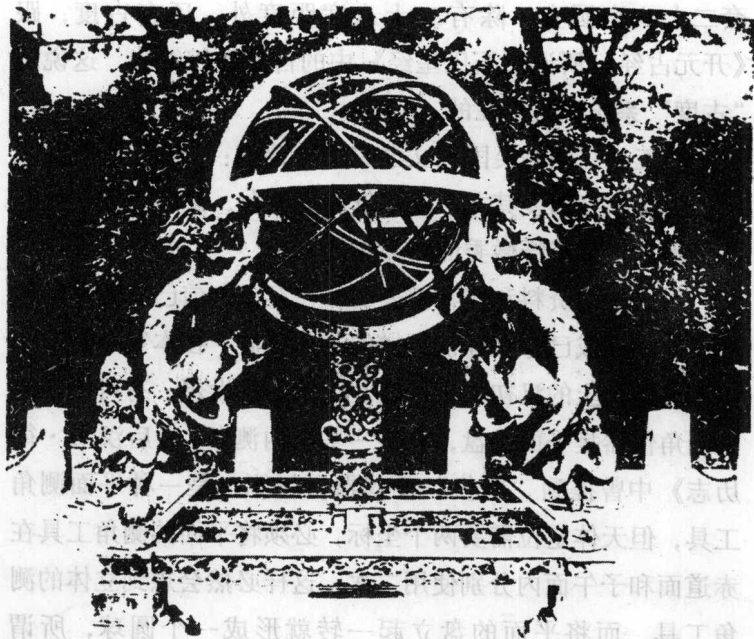
浑仪是我国古代天文学家用来测量天体坐标和两天体间角距离的主要仪器，由于它的重要性，历代均有研制。保存至今的明制浑仪和清制浑仪结构合理、铸造精良、装饰华丽，成为古代天文仪器的精品，甚至成为我国古代科技文明的象征。

现在，谈到浑仪的最早制造一般都引用这样两条资料：

“或问浑天。曰：落下闳营之，鲜于妄人度之，耿中丞象之。”（杨雄：《法言·重黎》）

“落下闳为汉武帝于地中转浑天，定时节，作太初历。”（《隋书·天文志》）

落下闳是汉武帝时人，他营造了一个浑仪，另一位天文学家鲜于妄人用它来测量，而宣帝时的大司农中丞耿寿昌则做了一个浑象来模拟天球的运动。这里，西汉末年的杨雄并没有说浑仪是落下闳发明的，只是说他制造了一个浑仪。那么，在落下闳之前还有什么线索呢？以下几点值得考虑：

首先，战国时代的石申约是公元前4世纪人，他曾著《天文》八卷，其中有100多颗恒星的地道坐标，以入宿度表经度，去极度表纬度，单位为度，度以下用少、半、太、强、弱等字表示。这说明石申的时代应该有测量角度的仪

浑仪

器，并且能测出比 1 度还小的角度。

其次，分周天为 365 $\frac{1}{4}$度的制度应同四分历的创制有关，而先秦四分历的形成年代很可能在公元前四五世纪的战国时代。

第三，1973 年长沙马王堆出土了《五星占》一部，其中记有公元前 246 年至前 177 年间木、土、金三星的行度，度以下的单位为分，而 1 度为 240 分。

第四，1977 年在安徽阜阳从西汉初年的古墓中出土一

套二十八宿圆盘，除有二十八宿距度外，还有古度，跟《开元占经》所记《石氏星经》中的古度数相符合，这说明“古度”系统确是存在的。

第五，三国时吴国天文学家王蕃曾说：“浑天遭周秦之乱，师徒断绝而丧其文，惟浑仪尚在灵台，是以不废，故其法可得言，至于纤微委曲阙而不传。”

以上这些资料和实物都表明；在秦汉之前已有测量角度的仪器，亦或已存在浑仪这样的测角仪器。在本章第一节中曾描述过出土的汉初二十八宿圆盘的用法设想，有可能最初的测角仪器是平面的盘，在某一平面内测角。《后汉书·律历志》中曾提到“圆仪”的仪器，可能也是一种平面测角工具，但天体定位需要两个坐标，必须将平面的测角工具在赤道面和子午面内分别使用二次，这样必然会想到立体的测角工具，而将平面的盘立起一转就形成一个圆球，所谓“立圆为浑”，或许浑仪的出现曾经历了从圆到浑的发展过程。

我国古代浑仪从诞生到变成历史文物，经历了从简单发展到复杂又回到简单的过程。战国至秦或许是它的诞生时期，汉唐时期是研制、创新、定型阶段，宋元时期是它的高峰，明代以后创新和铸造的热情明显下降。

浑仪的构造包括三个基本部件，首先是窥管，通过这根中空管子的上下两孔观测所要测的天体；其次是反映各种坐标系统的读数环，当窥管指向某待测天体时，它在各读数环中的位置就是该天体的坐标；此外就是各种支承结构和转动

部件，保证仪器的稳固和使窥管能自由旋转以指向天空任何方位。

最初的浑仪结构比较简单，只有一根窥管和赤道系统的读数环并兼做支架的作用，在《隋书·天文志》中最早留下了南北朝时孔挺于公元 323 年制的浑仪结构，即如上述，它就是“古之浑仪之法者也”。公元 412 年，北魏斛兰制铁浑仪，增加带水槽的十字底座，底座上立四根柱子支承仪器。这样，读数系统与支承系统就分开了。到唐代，由于李淳风和一行、梁令瓒等人的努力，浑仪的三重环圈系统建立起来，成为后世浑仪结构的定型式。

浑仪的三重环圈各有名称，最里面的是四游环或四游仪，它夹着窥管可使之自由旋转；中间一重是三辰仪，包括赤道环、黄道环、白道环，上面都有刻度，是各坐标系统的读数装置；外面一重是六合仪，包括地平、子午、赤道三环，固定不动，起仪器支架作用。考察历代所制浑仪，都可以按这三重环圈体系来分析它们的结构。英国李约瑟博士在《中国科学技术史》一书中列出了一张表格，分析了十几架浑仪的结构，可资参阅，但其中有一些可能对古代资料的理解有误，将浑象误为浑仪。

由于天体的周日运动是沿赤道平面的，所以只有赤道系统能最方便地表示天体的坐标，黄道和白道就显得很麻烦，而且，由于岁差的原因，赤道和黄道的交点不断变化，使黄赤道的位置不固定。一行和梁令瓒所铸黄道游仪就是为了解决这个问题而设计的，他们在赤道环上每隔 1 度打一孔，使

黄道环能模仿古人理解的岁差现象不断在赤道上退行。类似的情况是白道和黄道，李淳风就在他制造的浑天黄道仪的黄道环上打249个孔，每过一个交点月就让白道在黄道上退行一孔。这样的设计虽说巧妙，但使用上却带来不便，精度上也受影响，后来遂被废除。

宋代的浑仪铸造主要在北宋，大型的就有五架，每架用铜总在1万公斤以上，可见其规模之大。而且宋代浑仪也注意精度方面的改良，如窥管孔径的缩小，降低人目移动造成的误差；调正仪器安装的水平和极轴的准确，降低系统误差；又发明转仪钟装置和活动屋顶，成为中国天文仪器史上两大重要发明。

浑仪到了宋代已是环圈层层环抱的重器，它在天文测量和编历工作中起了很大的作用，但也渐渐显示了多重环圈的弊病：安装和调正不易，遮蔽天空渐多，使许多天区成为死区不能观测。因此，宋代之后已在酝酿浑仪的重大改革，这就是元代简仪的创制。

要追踪历代浑仪的下落是件不容易的事。木制的当然不易保存下来，即使是铜铁铸的也因年久湮灭和战乱毁坏而不存。汉代浑仪现在已无法研究，只知张衡（78～139）以后著名学者蔡邕（132～192）还见其在候台，流放朔方后他仍思念要寝伏仪下，探索天文学问题。前赵南阳孔挺于公元323年所铸浑仪，后经魏晋丧乱，沉没西戍，义熙十四年（418）宋高祖（刘裕）定咸阳得之，至梁时置于重云殿前。北魏斛兰412年所铸铁浑仪使用了200年，至唐时仍置于太

史候台之上，但已经锈蚀，转动不灵，误差太大，不能使用，于是李淳风另铸新仪。

唐初李淳风于贞观七年（633）铸成浑天黄道仪，唐太宗令置于凝晖阁，以用测候，“既在宫中，寻而失其所在”，而该仪的“用法颇难，术遂寝废”，这架仪器在皇宫内下落不明。后一行、梁令瓒又铸黄道游仪，开元十三年（725）成，玄宗亲为制铭，置之于灵台以考星度。此仪下落也未交代。但一行和梁令瓒同时铸造的浑象被置于武成殿前，无几而铜铁渐涩，不能自转，遂藏于集贤院，不复使用。从这里可知，当时冶铸的仪器比较容易锈蚀。

宋代浑仪的遭遇要复杂些，北宋为金所灭，开封的五大浑仪全被虏至金都，运输过程中损坏的部件均被丢弃，浑仪被置于金太史局的候台上，但因开封和北京纬度差达 4 度，观测时需作修正。金章宗明昌六年（1195）八月，雷雨狂风使候台裂毁，浑仪滚落台下，后经修理复置于台上。公元 1214 年，北方蒙古族南下攻北京，金宣示南渡开封，仓皇出逃，宋代浑仪搬运困难，只好放弃而去，宋代仪器再次受到毁坏。至元代初年吴师道在城外记游诗中还曾提到宋皇祐浑仪废弃在金代司天台上。（元吴师道九月二十三日城外记游诗云：“清台突兀出天半，金光耀日如新磨，玑衡遗制此其的，众环侍值森交柯，细书深刻皇祐字，观者叹息争摩挲，司天贵重幸不毁，回首荆棘悲铜驼”）《元史·郭守敬传》中也提到：“今司天浑仪，宋皇祐中汴京所造。”可见，到元代初年，宋代浑仪只有皇祐年间（1051）周琮等人所

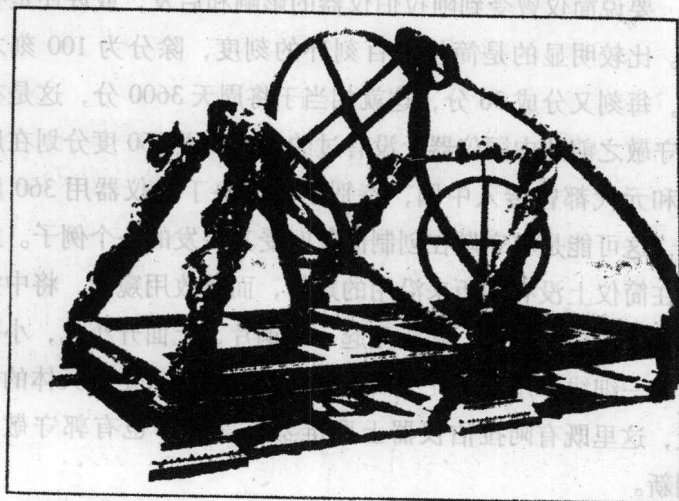
造的一架还有线索，其他的都已不明。

北宋亡后，高宗南渡，偏安江南，在杭州曾铸造过二三台小型浑仪，置于太史局、钟鼓院和宫中，但下落均不明（《宋史·天文志·律历志》）。

明建都南京后，洪武十八年（1385）将北京的宋、元浑仪运至南京鸡鸣山设观象台，二十四年（1391）铸浑仪。明成祖迁都北京后仪器并未运回北京，而是派人去南京做成木模到北京来铸造，1437 年铸成，置于明观象台上（即现在的北京古观象台）。清康熙七年（1668），钦天监请将南京的郭守敬所造仪器运回北京（《清朝文献通考·象纬考》）。康熙五十二、三年间梅瑴成在观象台下见到许多前代旧仪，言“元制简仪、仰仪诸器，俱有王恂郭守敬监造姓名”。康熙五十四年（1715）欧洲传教士纪理安提出铸造地平经纬仪，将台下元明旧仪，除明制简仪、浑仪、天体仪外，尽皆熔化充作废铜使用，遂使元明旧仪不复留存，实在令人惋惜和气愤。这里有几点应该指出：清初从南京将元明旧器运回北京时有否全部运回？尤其是宋皇祐浑仪，清代文献均未提及，是否仍遗于南京？又元代郭守敬所铸仪器甚多，明洪武二十四年也曾在南京铸浑仪；梅瑴成的话太笼统。所以关于宋、元、明旧仪的下落还有待进一步研究和发现。

目前陈列在北京古观象台上的仪器为清代铸造，而在南京紫金山天文台上的浑仪、简仪则是明仿制的宋元旧仪。

简仪

简仪，1279年元初郭守敬创制，现存紫金山天文台之简仪为明正统年间（1437）复制品，而郭氏原器毁于清康熙五十四年（1715）。简仪是重要的观测用仪器，由浑仪发展而来。因其简化了浑仪的环圈重叠体系，又将赤道坐标与地平坐标分开，不遮掩天空，观测简便，故后人以此作为简仪名称之由来。

简仪

英国人李约瑟博士提出了另一种说法，他认为简仪的来历要溯源于一位西班牙穆斯林天文学家贾博·伊本·阿弗拉，他于1170年制成了一架黄赤道转换仪，能方便地将一种球面坐标变换成另一种。1267年扎马鲁丁可能将这一知识带到中国，郭守敬建造简仪时采用了这一知识而简化了其中的黄道坐标部件，因而郭守敬成了赤道式装置的创始人。这一说法并未得到人们的赞同，实在是因为赤道式装置在中国古已有之，历代之浑仪浑象均已采用，且浑仪发展到宋代，环圈重叠的弊病已趋明显，宋代铸仪时已考虑简化的问题。至于扎马鲁丁携来的西域仪象，文献中未提到黄赤道转换仪。因此，上述说法自然难于接受。

要说简仪曾受到阿拉伯仪器的影响和启发，或许还是有的。比较明显的是简仪上百刻环的刻度，除分为100刻之外，每刻又分成36分，这就相当于将周天3600分，这是在郭守敬之前的中国仪器上没有过的。而周天360度分划在唐代和元代都曾传入中国，特别是扎马鲁丁的仪器用360度制，这可能是郭守敬在创制简仪时受其启发的一个例子。此外在简仪上没有用历来沿用的窥管，而是改用窥衡，将中空的管子改成一根尺，两头立起一小铜片，上面开小孔，小孔中置一细线，用上下孔中两条细线与天体重合定准天体的位置，这里既有阿拉伯仪器上照准器的影响，也有郭守敬的创新。

简仪，就其结构来说是一个含有四架简单仪器的复合仪器，或许称复仪更为合适。它的主要部分是一架赤道经纬

仪，可算是传统浑仪的简化，它只有四游环、赤道环和百刻环，而后两环重叠在一起置于四游环的南端，使四游环上方无任何规环遮掩，一览无余。在赤道和百刻两环之间安装有四个铜圆柱，起滚动轴承的作用（明复制品中没有），这一发明也早于西方200年之久。另一部分是地平经纬仪，又称立运仪，就是直立着运转的仪器。这也是新创造的，可以测量天体的地平经纬度。它只有二个环，一个地平环，水平放置，在地平环中心垂直立一个立运环，窥衡附于其上，起四游环的作用。其他二部分是候极仪和正方案，候极仪装于赤道经纬仪的北部支架上，以观北极星校准仪器的极轴，使安装准确。正方案置于南部底座上，它既可以携带走单独使用，在这里也可以校准仪器安装的方位准确性（现存简仪上正方案的位置在明末清初换上了平面日晷）。在《元史·天文志》里列举郭守敬创制的仪器名称，首先就是简仪，而立运仪、候极仪、正方案的名称又另外列出，可见郭守敬所指的简仪就是单指其中的赤道经纬仪，但当时既无这一名称，它又同传统的浑仪形状不同，考其作用正如浑仪，结构比浑仪简化。故郭守敬称其简仪也是合理的。

仰仪

仰仪是郭守敬创制的另一架重要仪器，形如一口大锅仰面朝天，锅内刻赤道坐标网，在半圆球的球心处设法置一铜片，中开小孔，利用小孔成像的原理将太阳像成在大锅的内壁上，从刻成的经纬网中立即可以看出太阳的坐标。这一仪器免除了仰面观测的不方便，又避免了人眼直接观日的光芒刺激。它既可以测知太阳的坐标，又可判断时间，日食时还可以方便地观测亏起方位和食分，是一架用途广泛、使用方便、铸造容易的仪器。这一发明不久便传到朝鲜和日本，至今朝鲜还保存有 17 世纪时制造的仰釜日晷。

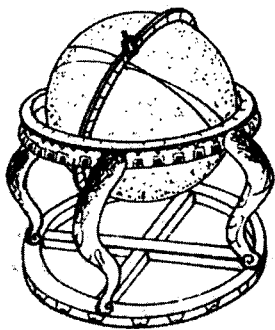
在天文仪器的制造中，利用小孔成像的原理，这在中国是绝无仅有的，就是在世界古代天文仪器中也未见过，郭守敬是首创者。同时，在郭守敬创造的仪器中还有一件景符，是配合高表观日影用的，利用的也是小孔成像原理，这表明郭守敬的这一创造并非偶然。在我国古籍中，关于小孔成像的描述最早见于战国时代的《墨经》，南宋以后该书流行甚广，郭守敬研究其中的知识作出创造是完全可能的。

仰仪由于明清两代的南北迁移和人为毁坏，今已不

存。但是根据仰仪的形式和原理制作的小型日晷在民间肯定流传甚广。北京市文物管理所在“十年动乱”中曾从垃圾堆里拣到一块象牙制的仰釜日晷残品，在朝鲜也保存有100多年前制作的类似日晷，其北极出地高度为37度多，这一纬度跟郭守敬的故乡河北省邢台非常接近。北京天文馆已复制出一架仰仪，放置在北京建国门立交桥南的古观象台上，使后人得以重睹它的光彩，也使先人之伟大发明不致湮灭无存。

浑象

浑象是另一类古代天文仪器，主要用于象征天球的运转，表演天象的变化。有时也称浑天象或浑天仪，甚至称为浑仪，同用于观测的浑仪互相混淆。

提起浑象或浑天仪，人们马上会想到张衡创制浑天仪，这实在有些误会。东汉科学家张衡确实制造过一架浑象，称“漏水转浑天仪”，但浑象的发明在张衡之前。在前面讲浑仪时曾提到西汉宣帝时大司农中丞耿寿昌就曾制造过浑象，所以在张衡之前浑象已经出现了。至于耿寿昌之前的情况，现在还没有资料，因此浑象的发明还是个谜。

浑象

那么张衡对浑象有没有贡献呢？有的。张衡发明了水运浑象，即以水力转动浑象，使之能自动旋转，同天象的运转协调一致，能比较准确地表演天象的变化。因此，只要将张衡的水运浑象放在屋子里就可以知道外面的天象，在大白天也可以知道什么星到了南中天。这一贡献开创了后代制造自动旋转仪器的先声，导致了机械计时器即钟表的发明，对世

界文明的发展影响深远。

浑象的基本形状是一个大圆球，象征天球，大圆球上布满星辰，画有南北极、黄赤道、恒显圈、恒隐圈、二十八宿、银河等等，另有转动轴以供旋转。还有象征地平的圈（在圆球之外）或框，亦或有象征地体的块（在圆球之内）。由于大圆球的转动带动星辰也转，在地平以上的部分就是可见到的天象了。

在耿寿昌和张衡之后，各种尺寸的浑象几乎各代都有制造，但有的是不能自动旋转的，有的则仿照张衡的做法，用漏水的动力使浑象随天球同步旋转，而这后一类自动浑象在唐和北宋时代得到了长足的发展，其中重要的是一行、梁令瓒和张思训、苏颂、韩公廉等人的创造性工作。一行和梁令瓒在唐开元十一年（723）制成了开元水运浑天俯视图，或开元水运浑天，首次将自动旋转的浑象同计时系统综合于一体，设两木人按辰和刻打钟击鼓。沿着这一想法，北宋天文学家张思训于公元979年做了一台大型的“太平浑仪”，名曰浑仪，实际上是一个自动运转的浑象，做成楼阁状，有12个木人手持时辰牌到时出来报时，同时有铃、钟、鼓三种音响，该仪以水银为动力，因其流动比水稳定，启动力量也大。后来，苏颂、韩公廉又建成了约12米高的水运仪象台，将浑仪、浑象、计时系统综合于一身，达到了自动浑象制造的顶峰。

1958年，王振铎先生根据苏颂的著作《新仪象法要》考证了水运仪象台的结构，复制成功了这台仪器的缩小模

型，陈列于中国历史博物馆。差不多同时，英国李约瑟等人也做了类似的工作，伦敦邮政总局的孔布里奇先生也按其研究和理解复制了一件。通过他们的研究，一致认为其中控制运转的关键部件卡子乃是后世机械钟表中擒纵器的雏形。在西方机械钟表问世前的6个世纪，一行等人已做出了这一发明。李约瑟说，这一发明使我们看到了从漏水计时到现代化机械钟表发展过程中的关键一环。

浑象的研制到了元代有新的发展，郭守敬以他的创造性才能确使浑象出现了新的面貌和用途。在郭守敬为编制授时历和建设元大都天文台而创制的仪器中有浑象一架，半隐柜中，半出柜上，其制作类似前代。另还有一件前所未有的玲珑仪，关于此仪，所留资料不多，致使研究者产生两种不同的看法，一种认为是假天仪式的浑象，另一种则认为是浑仪，持不同意见的双方主要都是依据郭守敬的下属杨桓所写的《玲珑仪铭》。现将该铭文中有关仪器形状和性质的话录于下：

“……制诸法象，各有攸施。萃于用者，玲珑其仪。十万余目，经纬均布。与天同体，协规应矩。遍体虚明，中外宣露。玄象森罗，莫计其数。宿离有次，去极有度。人由中窥，目即而喻。先哲实繁，兹制犹未。逮我皇元，其作始备。……”（《天文类》卷十七）

如果用现代语言把这一段译出来便是；

“……天文学家制成仪象，各有各的用途，而集多种用途于一身的只有玲珑仪，该仪表面沿经纬线均匀分布有10

万多孔，按规律准确地与天球相符。整个仪体虚空透亮里外可见。虽然星宿密布于天，不计其数，但它们都有入宿度和去极度，只要利用该仪从里面窥看，即刻可以明白。古代贤者很多，但这种仪器尚未发明，直至元代，才首次做出来。……”

根据这一段描述可以清楚地感觉到，玲珑仪就是具有浑象之外形又有浑仪之用途的新式仪器。按郭守敬的助手齐履谦所作《知太史院事郭公行状》，他创制玲珑仪的原因是“象虽形似，莫适所用，作玲珑仪”（浑象虽然形状如天球，但不适于运用，所以作玲珑仪）。上文已提过郭守敬曾制作了一个从外面观看的浑象，如果玲珑仪是一个从里面观看的浑象（假天仪），则本质没有什么不同，仍旧是“莫适所用”。至于说玲珑仪是浑仪，是明代复制浑仪的原型，这一看法，更是站不住脚。郭守敬已经对环圈相套的浑仪做了重大改革，创制了简仪，不可能再去做一个环圈相套的旧式浑仪，而且玲珑仪铭的描述中有许多话是同环圈相套的浑仪不相容的。浑仪和浑象以及假天仪，在元代之前均有制作，不能认为“兹制犹未”，因此，说玲珑仪是假天仪或浑仪对上述引文中最后四句均无法解释，结论只能是：玲珑仪既不是假天仪，也不是浑仪，它就是玲珑仪。

日本山田庆儿教授曾猜想玲珑仪是以半透明材料制作天球的浑象，其前一半是可取的。在这种半透明材料上按经纬线钻小孔，当人从里面看时，就感到整个天球布上了经纬网，天上的星都在这经纬网中有其位置，其坐标一看即明。

白天可用来看太阳，晚上可用来观星，得到它们的入宿度和去极度，这就类似浑仪的用途，故应安置于台顶。但当把三垣二十八宿及全天星象也标在球壳上以后，又可以表演天象变化，类似浑象的用途。所以称它玲珑仪，也是符合实情的。

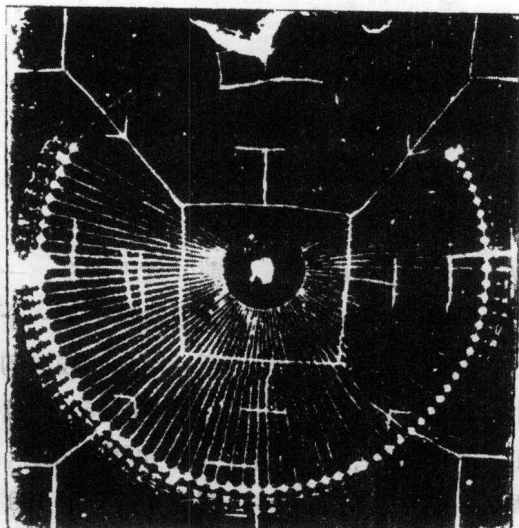
元明以前的历代浑象均未能保存下来，现在北京古观象台和南京紫金山天文台的浑象是清代制造的。

晷仪

晷仪，一般称秦汉日晷。目前共发现三个，一藏中国历史博物馆，一藏加拿大安大略皇家博物馆，另一个仅存一小角残石。它们的形状为一方形石板，中央有较深的圆孔，以圆孔为中心画有一大圆圈，在圆周上刻有 69 个浅孔，浅孔都标上 1～69 的数码，并有直线与中央圆孔相连。按 69 孔所占圆周 2/3 略多来估算，整个圆周是等分成 100 份的，每一浅孔占 1/100。从所用字体来看，当为秦汉遗物。

对这些孔和线，研究者普遍的看法是，中央圆孔插一定表，周围浅孔插置游表，都是用来观测太阳影子的标杆。除了这些没有分歧的意见，对于这一仪器的用途却有三种不同的看法，至今并无公认的结论。

一种看法认为这是观日影定时刻的仪器，联系到我国很早就将一天分成 100 刻，这一仪面上也是均匀分成 100 分，其夜间部分（31 刻）无需刻画，故只需刻 69 孔。如将仪面倾斜放置，与当地赤道面平行，则日影在晷面上的移动就是均匀的，因此这就是一个赤道式日晷。

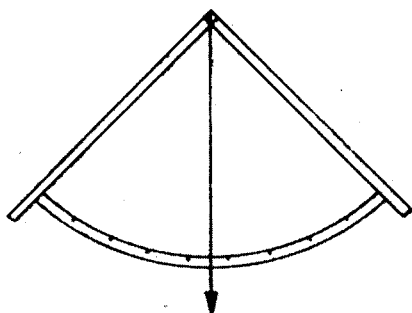
第二种看法认为仪面是平放的，不能用来测时，可以用来校准漏壶。持这种看法的人认为中国赤道式日晷发明在南宋初年，而秦汉出土的这些仪器底座也不宜斜置。

秦汉日晷

第三种看法认为这是用来定方向的仪器，平放在地面上，只要中心定表的影子端点一天二次（上、下午）落到圆周上的二个浅孔上，利用这两个浅孔的连线可知东西方向。在《周髀算经》和《淮南子》中均有这种方法的介绍，《汉书·律历志》中也有“议造汉历，乃定东西，立晷仪，下漏刻，以追二十八宿于四方……”的话，故认为这是同定方向有关的“晷仪”。

笔者比较倾向于第一种看法。这是因为，均匀的浅孔与平放的仪面是不相容的，太阳的周日运动平行于赤道面，只有将仪面平行于赤道面放置才能使日影均匀地在仪面上移动。明确的赤道式日晷记载虽出现在南宋，但这不能作为秦

汉时没有赤道式日晷的理由。事实上，早在战国时代已出现了天体赤经差的测量，编成了石氏星表，说明赤道式仪器早已出现。再说，圆周上的100分划正好跟百刻时制相合，定向用的仪器跟均匀分100份没有必然的联系，其他分划也可以完成定方向的任务。至于《汉书·律历志》的话，则更有利于这是定时刻的仪器，为了议造汉历，必先确定东西方向，方向确定后才好安放“晷仪”即日晷，将晷面上未刻部分朝南，以定正午，有了日晷就可以校准漏壶，使正确计时，其后就可以观测，追二十八宿于四方了。

复矩

复矩，又称复矩图，唐代天文学家一行、南宫说等人为编制大衍历而创制的仪器，可以用来测各地的北极高度，即地理纬度。据史料记载推测，认为这是把一根直角曲尺翻转过来，在直角顶点悬一重锤，在两根垂直的尺之间设置圆弧，上面标有刻度。只要沿一根尺边观测北极星，重锤线在圆弧上就可以显示出北极高度的读数。

复矩猜想图

利用这一仪器，南宫说等人测量了河南省境内登封、阳城、滑县、开封、上蔡四地的北极高度，又测量了四地之间的距离，发现351里80步（约151公里）北极高度差1度。

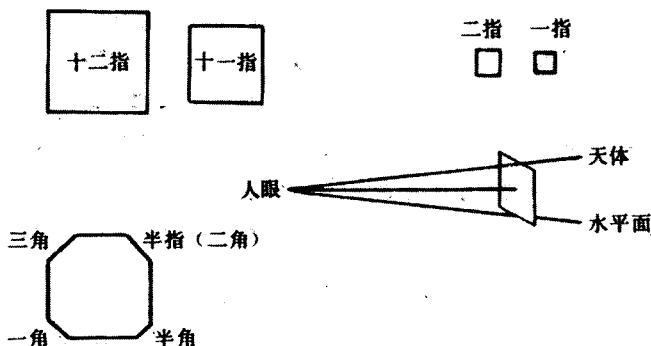
上述关于复矩结构的推测仅仅根据新旧唐书天文志中的一句话："以复矩斜视，北极出地三十四度四分"。到底有否重锤线和带刻度的圆弧，没有文献记载。但在有关的叙述中，又提到"勾股图"、"大衍图"、"复矩图"等名称，并多次出现"以图测之"，"按图斜视"，"以图校之"等语。因此，"复矩"

和“复矩图”是否为一物遂引起人们的怀疑。如《旧唐书·天文志》载：“……朗州测影，夏至长七寸七分，冬至长一丈五寸三分，春秋分四尺三寸七分半。以图测之，定气长四尺四寸七分，按图斜视，北极出地二十九度半。”这里春秋分之影长有二个数据，一个是实测的，一个是以图测的。大家知道，根据简单的球面天文知识，可以从冬夏至日影长求得春秋分的日影长，据此可以求得春秋分日太阳的天顶距，而这个数据就是当地的北极出地度（地理纬度）。将新旧唐书中的各地测影数据进行计算，发现其计算所得的春秋分影长与“以图测之”的数据相符，而跟实测值颇有差距。这是否说明“复矩图”乃是一种图解法或一种根据冬夏至的影长求出观测地的北极出地度的数学方法？

这一数学方法可能是这样的：先根据一行创立的太阳天顶距和影长对应表算得各度之影长，再计算北极出地为 17 度的地方夏至及各气太阳天顶距和相应影长（只要算夏至到秋分之间即可够用）列成一表，这就是北极出地 17 度地方的复矩图，然后依次算出北极出地 18 度、19 度……直至 40 度各地的表，共得 24 个表。到达某地时，只要知道测影日的节气和测得中午影长即可在上述 24 个表上去查对，找到相应的二张表，其所测影长正在二表所列数据之间，用内插法即可知某地的北极出地度。《旧唐书·天文志》曰：“沙门一行因修大衍图，更为复矩图，自丹穴以暨幽都之地，凡为图二十四，……”可见 24 图之意即为每度一表也。

牵星板

牵星板，这是一种实用的测角仪器，同复矩和正方案类似，都具有便于携带和使用简单的特点，但牵星板多用于海上航行，以测量天体的水平高度或两天体间的纬向角距离。在明代李翊写的《戒庵老人漫笔》中描述了牵星板的形状："苏州马怀德牵星板一副，十二片，乌木为之，自小渐大，大者长七寸余。标为一指、二指以至十二指，俱有细刻，若分寸然。又有象牙一块，长二寸，四角皆缺，上有半指、半角、一角、三角等字，颠倒相向，盖周髀算尺。"根据这一记载，可以知道一副牵星板有大小十二块乌木方板，另有一块象牙板，四角缺去，表示指以下的单位：一指等于四角。

使用时，手持牵星板伸向前方，使板下沿与海平面相合，板面垂直于海面，板中心穿一根固定长度的线，一头贴在下嘴唇或眼窝下，沿板上沿观看要测之恒星，换取适当大小的牵星板，使要测之星正好贴着牵星板上沿，则板上标明的指数就是这个星的水平高度。这种简便易行的方法在海上航行中广为应用，以确定海船在大海中的南北位置。明代茅元仪编纂的《武备志》中载有《郑和航海图》24 页，其中有 4 幅《过洋牵星图》，上有许多实测纪录，如"织女星七指平水"，"水平星五指一角平水"等。此外，在《顺风相

牵星板示意图

送》、《指南正法》等书中也有不少牵星记录，说明牵星术在航海中的重要作用。1974 年在泉州湾发掘的宋代海船中出土了大批珍贵文物，其中也有多块缺角的木板，形状与上图中的象牙板相似，从严重磨损的情况来看，它们很可能是用久了的牵星板，后来改做物品签了。

在泉州湾出土的南宋古船中还有一件颇为奇怪的尺，长 20. 7厘米，宽2. 3 厘米，从一头开始刻有 5 个分划，每划间距约2. 6 厘米，其余 7 厘米多没有刻划。这种一头有刻度另一头没有刻度的尺很可能也是一种牵星工具，不妨叫做“牵星尺”，它是牵星板的发展还是牵星板的前身，现在还很难说。因为用牵星板来牵星，其使用单位为“指”和“角”，“角”的来历显然是同牵星板的缺角有关，而“指”则为手指头。当初人们想测量两天体之间的角距离，很可能是手臂平伸，竖起手指头来量，看两天体之间能容下几指，于是就用“指”来表示这种角距离，在马王堆出土的帛书

《五星占》中就用了“指”这样的单位来表示金星与月亮的角距离，在《乙巳占》和《开元占经》中也引用了战国时期的不少星占书，其中也有“指”的记载，可见“指”这一单位当起源于公元前三四百年。同时我们也发现，古代除了用“指”之外，也用“尺”、“寸”来表示角距离，南宋古船出土的“牵星尺”为我们提供了一件实物，它的刻度2．6厘米约相当于宋尺的一寸，当手持无刻度的部分，手臂向前伸直，尺顶与某星相接时，看海平面在尺上的位置就可知道某星出水几寸了，这无疑也是一种简便的牵星方法和牵星工具。

古历的沿革

早在原始社会时期我国就有历法的萌芽。日出而作、日入而息的习惯，以物候和气候变迁来指导农耕和采撷活动，这些都是原始历法的萌芽。《尚书·尧典》中有“期三百有六旬有六日，以闰月定四时成岁”的话，这句话至少传达了三种信息，即一岁分四季（四时），366 天，并有闰月的安置。

殷商时期的甲骨卜辞，提供了《殷历》的重要线索，主要包括以六十干支来记日，以月亮的圆缺周期记月，大月 30 天，小月 29 天，一年 12 个月，有时 13 个月，是为闰月，有“南日至”即冬至的认识。这表明《殷历》已具备了阴阳合历的特点，这一特点作为一种传统为后世历法沿用了数千年之久。

进入西周，历法又有了进步，在铸造于青铜器上的铭文中发现有大量月相的记载：初吉、既望、生霸、死霸等。这些名词是表示一月中的某一天（定点说），还是表示某一时段（四分说），历来争论不休。争论的双方都不能完满地解释现在的金文资料，也不能有力地证明对方站不住脚。因此，这一问题仍有待进一步发现新资料。虽然如此，它仍说明西周时期对月亮圆缺规律的研究已有进展。公元前七八世

纪创作的《诗经·十月》篇，第一次出现了“朔”的记录，表明已将月的开头从“朏”（新月初见），改成了朔（日月相合），因为朔是看不见的时刻，需以别的方法推算，其难度当比朏大得多。

春秋末期，出现了《四分历》和19年7闰的闰周，使我国古历出现了新的进展。《四分历》是以365 $\frac{1}{4}$天为一年之长，并发现235个朔望月同19年差不多一样长，故19年中安插7个闰月，这样，一个朔望月的长度就是29 $\frac{499}{940}$天，比笼统地以29.5天为一月进步多了。在诸侯割据、列国分争的形势下，各国行用不同的历法，计有夏、殷、周、鲁、黄帝、颛顼六种，称古六历。它们都是《四分历》，只是年的开头在十一月、十二月或是一月而不同，历法的起算点历元不同。以一月为岁首称建寅，晋国地区曾使用；以十二月为岁首称建丑，鲁国文公、宣公以前曾用过；以十一月为岁首称建子，宣公以后行用过；后来还出现过以十月为岁首的，是为建亥，秦和汉初使用过。至于历元的不同，《后汉书·律历志》介绍说：“黄帝造历，元起辛卯。颛项用乙卯。夏用丙寅。殷用甲寅。周用丁巳。鲁用庚子。”

秦及汉初以前的历法均未能保存下来，所以它们的详情不得而知，虽有一些文献和考古发掘提供了零星的资料，但要复原某一种历法还是不可能的，如同生霸、死霸的问题争论一样，对先秦古历的几种看法尚不能说谁是谁非，在资料不足的情况下做出任何结论将是不科学的。

西汉武帝时征召天下善历者改造新历，编成《太初历》，成为传世的第一部完整历法，其后改历多次，造历近百种。

现将部分中国古历列表如下：

中国古历表

序号	历名	撰修者	修成年代	行用年代	回归年	朔望月
1	夏历	无考	无考		365.2500日	29.53085日
2	周历	无考	无考		365.2500	29.53085
3	鲁历	无考	无考		365.2500	29.53085
4	殷历	无考	无考		365.2500	29.53085
5	黄帝历	无考	无考		365.2500	29.53085
6	颛顼历	无考	无考	(秦)前221？—前207 (西汉)前206—前105	365.2500	29.53085
7	历术甲子篇	司马迁	前104	未用	365.2500	29.53085
8	太初历	邓平等	前104	(西汉)前104—(东汉)84	365.2502	29.53086
9	三统历	刘歆			365.2502	29.53086
10	古四分历		约公元前5世纪		365.2500	29.53085

续表

序号	历名	撰修者	修成年代	行用年代	回归年	朔望月
11	四分历	李梵等	85	85—263	365.2500	29.53085
12	乾象历	刘洪	206	223—280	365.2462	29.53054
13	黄初历	韩翊	220	未用	365.2468	29.53059
14	太和历	高堂隆	227	未用	365.2469	29.53060
15	景初历	杨伟	237	237—451	365.2469	29.53060
16	正历	刘智	274	未用	365.2467	29.53058
17	水和历	王朔之	352	未用	365.2468	29.53059
18	三纪甲子元历	姜岌	384	384—517	365.2468	29.53060
19	元始历	赵歅欧	412	412—439 452—522	365.2443	29.53060
20	元嘉历	何承天	443	445—509	365.2467	29.53059
21	大明历	祖冲之	463	510—589	365.2428	29.53059
22	正光历	张龙祥	521	523—565	365.2437	29.53059
23	兴和历	李业兴	540	540—550	365.2442	29.53060
24	大同历	虞邝	544	未用	365.2444	29.53060
25	九宫历	李业兴	547	未用	365.2443	29.53064
26	天保历	宋景业	550	551—577	365.2446	29.53060
27	天和历	甄鸾	566	566—578	365.2443	29.53071

续表

序号	历名	撰修者	修成年代	行用年代	回归年	朔望月
28	孝孙历	刘孝孙	576	未用	365.2443	29.53059
29	甲寅元历	董俊等	576	未用	365.2445	29.53060
30	孟宾历	张孟宾	576	未用	365.2443	29.53059
31	大象历	马显	579	579—583	365.2438	29.53063
32	开皇历	张宾	584	584—596	365.2434	29.53061
33	大业历	张胄玄	597	597—618	365.2430	29.53059
34	皇极历	刘焯	604	未用	365.2445	29.53060
35	戊寅元历	傅仁钧等	619	619—664	365.2446	29.53060
36	麟德历	李淳风	665	665—728	365.2448	29.53060
37	神龙历	南宫说	705	未用	365.2448	29.53060
38	九执历	瞿昙悉达	718	未用	365.2467	29.53058
39	大衍历	一行	728	729—761	365.2444	29.53059
40	五纪历	郭献之	762	762—783	365.2448	29.53060
41	正元历	徐承嗣	783	784—806	365.2447	29.53059
42	宣明历	徐昂	822	822—892	365.2446	29.53060
43	崇玄历	边冈	893	893—938	365.2445	29.53059
44	钦天历	王朴	956	956—963	365.2445	29.53059
45	应天历	王处讷	963	964—982	365.2445	29.53059

续表

序号	历名	撰修者	修成年代	行用年代	回归年	朔望月
46	乾元历	吴昭素	981	983—1000	365.2449	29.53061
47	至道历	王睿	995	未用		29.53060
48	仪天历	史序	1001	1001—1023	365.2446	29.53059
49	乾兴历	张奎	1022	未用	365.2448	29.53050
50	崇天历	宋行古	1024	1024—1064 1068—1074	365.2446	29.53059
51	明天历	周琮	1064	1065—1067	365.2436	29.53059
52	奉元历	卫朴	1074	1075—1093	365.2436	29.53059
53	观天历	皇居卿	1092	1094—1102	365.2436	29.53059
54	占天历	姚舜辅	1103	1103—1105	365.2436	29.53059
55	纪元历	姚舜辅	1106	1106—1127 1133—1135	365.2436	29.53059
56	大明历	杨级	1127	1137—1181	365.2436	29.53059
57	统元历	陈德一	1135	1136—1167	365.2436	29.53059
58	乾道历	刘孝荣	1167	1168—1176	365.2436	29.53059
59	淳熙历	刘孝荣	1176	1177—1190	365.2436	29.53060
60	乙未历	耶律履	1181	未用	365.2431	29.53059
61	重修大明历	赵知微	1181	1181—1234 1215—1280	365.2436	29.53059

续表

序号	历名	撰修者	修成年代	行用年代	回归年	朔望月
62	五星再聚历	石万	1187	未用	365.2445	29.53059
63	会元历	刘孝荣	1191	1191—1198	365.2437	29.53059
64	统天历	杨忠辅	1199	1199—1207	365.2425	29.53067
65	开禧历	鲍瀚之	1207	1208—1251	365.2431	29.53059
66	西征庚午元历	耶律楚材	1220	未用	365.2436	29.53059
67	淳祐历	李德卿	1250	1252	365.2428	29.53059
68	会天历	谭玉	1253	1253—1270	365.2429	29.53059
69	成天历	陈鼎	1271	1271—1276	365.2427	29.53059
70	授时历	郭守敬	1280	1280—1664	365.2425	29.53059
71	圣寿万万历	朱载堉	1554	未用	365.2420	29.53059
72	黄钟历	朱载堉	1581	未用	365.2420	29.53059
73	新法历	徐光启等	1634	1645—1723	365.2422	29.53059
74	晓庵历	王锡阐	1663	未用	365.2422	29.53059
75	癸卯元历	戴进贤	1742	1742—1911	365.2423	29.53059

古历的分期

对于这如此众多的历法和漫长的历法发展史，过去也曾有分期的研究，并提出可分三期，即《古六历》之前为历法萌芽期，《古六历》至明《大统历》为历法改革期，明末以后为中西合历期。这一分期当然不无道理。但是，对最富有中国特色的近百种古历，即从《古六历》到明《大统历》未能再作进一层次的分析，实在失于笼统。钱宝琮先生曾对这一时期的历法沿革做了详尽的叙述（“从春秋到明末的历法沿革”，《历史研究》，1960 年 3 期），对各历的成就和进步做了精辟的分析，成为该领域的代表之作。如果从各历的天文内涵和计算原理方面来分析，还可以进一步研究它们的分期。

第一期东汉乾象历之前，可称为固定周期均匀运动期。这里有《古六历》、《太初历》、《后汉四分历》等，这些历法都基于日、月、行星以固定周期匀速运动为前提，一旦确定了各种周期和起算点（历元），所有年的日历可简单地用周期循环叠加而推出。

第二期从《乾象历》至隋《皇极历》，包括魏、晋、南北朝的许多历法，不断认识到日、月、行星的运动是不均匀的，并陆续应用到历法推算中，是从均匀运动向非均匀运动的过渡时期。

第三期从隋《皇极历》至元《授时历》，为固定周期非均匀

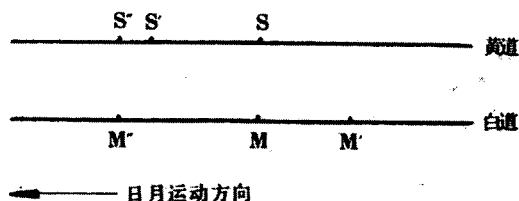
运动期，包括隋唐历法、众多的宋历及辽金历法。这是中国历法史上最重要的一个时期，为了计算各天体在固定周期内的非均匀运动，发展了二次和三次内插法等数学方法。它们以第一期的均匀运动为基础，再考虑各种非均匀运动的改正，用逐步逼近的方法力求符合天象，构成了中国历法计算的主体。

第四期为元《授时历》，可称做半固定周期非均匀运动期。这一期的酝酿可从南宋杨忠辅统天历开始，杨忠辅首次提出了回归年长度变化为古大今小的认识，《授时历》在此基础上创岁实消长法，每百年往前增万分之一日，往后减万分之一日。按现代天文学理论，回归年、朔望月、交点月等周期都不是固定不变的，且相邻两个周期也不相等，所以从固定周期走向半固定周期在认识上是重要的发展。

从这一分期可以看出，要研究中国古历，解读中国古历的计算原理和方法，第三期是关键所在，弄清了第三期历法的计算，可以上推远古，下通未来。以研究中国历法而著称于世的日本薮内清教授正是从隋唐历法入手，写下了《隋唐历法史之研究》这一奠基性著作，看来是不无道理的。

日躔

躔,本表示日、月、行星在运动中经过某一天区;离,则表示离开某一天区,《太衍历》、《历本议》曰:“日行曰躔”、“月行曰离”,而通常日躔、月离或躔离,泛指日月之运动。

由于日月运动不均匀,按均匀运动(或平均运动)算得的日月合朔(日月黄经相同)时刻并不是日月真正合朔的时刻。

日月的合朔

太阳在黄道上运行,月亮在白道上运行,按平均运动计算,它们到达 S 和 M 时为合朔(平朔),但此时真正的太阳已到达 S′,月亮到达 M′,显然并不合朔,要等月亮走到 M″,此时太阳也到达 S″时才是真正的合朔(定朔)。由图可见定朔和平朔之间有一个时间差 ΔT:

$$\Delta T=\frac{S'S''}{\text{日速}}=\frac{M'M''}{\text{月速}}$$

$$\because M'M''=M'M+SS'+S'S''$$

而 $M'M''=\Delta T\times$月速，$S'S''=\Delta T\times$日速

$$\therefore \Delta T=\frac{M'M+SS'}{\text{月速}-\text{日速}}=\frac{M'M}{\text{月速}-\text{日速}}+\frac{SS''}{\text{月速}-\text{日速}}$$

这里月速与日速之差可以用它们的平均速度差代替，误差不大，而 SS′和 M′M 是平朔时刻真太阳和真月亮比平均值快或慢的量。

在第三期的历法中都给出了日躔表和月离表，就是给出不同时刻的 SS′和 M′M 的值，来解决上述公式的计算问题。现引唐·李淳风《麟德历》日躔表之一部分为例说明之。

《麟德历》日躔表(部分)

中节	躔差率	消息总	先后率	盈朒积
冬至	益 722	息初	先 54	盈初
小寒	益 618	息 722	先 46	盈 54
大寒	益 514	息 1340	先 38	盈 110
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

这里“躔差率”就是从冬至至小寒一气之中太阳实际运行量比平均运行量多出的数，即 SS′，“益”表示正(快)，“损”表示负(慢)，分母为 1340，单位是天。“消息总”为“躔差率”的累积数，“息”为正，“消”为负。“先后率”是“躔差率”除以月速，即$\frac{SS'}{\text{月速}}$，《麟德历》以此来代替$\frac{SS'}{\text{月速}-\text{日速}}$，即太阳改正值，其实这是不对的，误差达 8%，该历取月速为$\frac{895}{67}$，故先后率的算法为：

$$\frac{722}{1340} \div \frac{895}{67} \doteq \frac{54}{1340}$$

$$\frac{618}{1340} \div \frac{895}{67} \doteq \frac{46}{1340}$$

…………

可见,先后率的分母也是1340,单位为天。盈朒积为先后率的累积数,盈为正,《朒》为负。

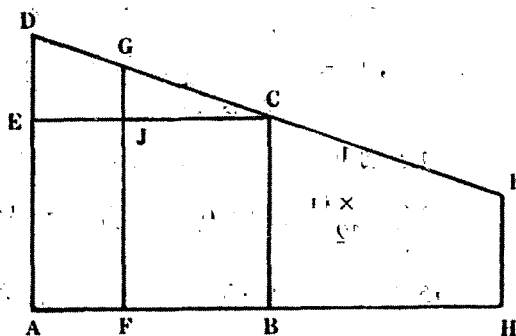
对于用平均运动算得的任何一个平朔时刻来说,它不一定正好在冬至、小寒等等这些节气上,而是距某一节气有一距离,因此上述日躔表中的数据不能直接引用。中国古历中一般用内插法来求某二个气节之间的任一时刻太阳改正值是多少。隋以前曾用一次内插,即平均内插,隋以后改用二次内插法,《麟德历》用等间距二次内插法,其几何原理可解释如下:A是冬至,B是小寒,H是大寒,梯形ABCD的面积就是太阳实际行度比平均行度多出的量。F是冬至和小寒间的某一平朔时刻,梯形AFGD的面积就是F点的"躔差率"。按梯形面积公式:

$$S_{AFGD} = \frac{1}{2}(AD + FG) \cdot AF$$

由图可知: $AB = BH = \mu$(设一气之长为μ天)

$$(S_{ABCD} + S_{BHKC}) \div AH = BC$$

$$(S_{ABCD} - S_{BHKC}) \div EC = ED$$

梯形ABCD是冬至气躔差率(本气率),梯形BHKC为小寒气"躔差率"(后气率),从日躔表中都可以查得,所以

等间距二次内插法的几何原理

$$BC = \frac{1}{2}\mu(\text{本气率} + \text{后气率})$$

$$ED = \frac{1}{\mu}(\text{本气率} - \text{后气率})$$

用相似三角形的有关知识，可求得：

$$JG = \frac{EC - AF}{EC} \cdot ED = (1 - \frac{AF}{\mu}) \cdot ED$$

$$\because AD = BC + ED, \quad FG = BC + JG$$

$$\therefore AFGD = \frac{1}{2}(AD + FG) \cdot AF$$

$$= \frac{1}{2}[BC + ED + BC + (1 - \frac{AF}{\mu}) \cdot ED] \cdot AF$$

$$= (BC + ED - \frac{1}{2\mu} \cdot AF \cdot ED) \cdot AF$$

根据这一公式就可以计算任何时刻的“躔差率”，进一步求得太阳改正值。

在《麟德历》中，BC 称做末率，ED 称做总差，$\frac{ED}{\mu}$称做别

差,AD 称做初率,AF 称做气朔距(即所求的某一个平朔到最近一个节气的距离),$AFGD$ 称做气内改正。《麟德历》认为,冬至前后日行速,一气之间天数少,夏至前后日行迟,一气之间的天数多,故有进纲 16,退纪 17 的安排,总称为纲纪。秋分后用进纲,每气含$\frac{16 \times 11}{12}$天(14.67),春分后用退纪,每气间含$\frac{17 \times 11}{12}$天(15.58),故式中的 μ 就叫做纲纪。按《麟德历》原文可以列出求气内改正的计算公式,结果为:

$$气内改正 = 初率 \times 气朔距 \pm \frac{1}{2}别差 \times 气朔距^2$$

这就是我们上面从梯形面积而求得的公式。

式中本气率大于后气率时称前多,用正号,反之称前少,用负号。在公式推导中,一气之间的天数是相等的,称做等间距,上述式子就是等间距二次差内插法的公式。根据《唐书·历志》所述计算方法亦可得到这一公式。

月离

日躔表解决了计算太阳视运动不均匀引起的太阳改正值问题。月离表是解决月亮改正值问题的，各历法中都给出了以近点月为周期的月离表，因为月亮视运动不均匀不是以朔望月为周期的。这首先就给计算增加了一个麻烦，即要先算出某一个平朔时刻距近点有多少天。按本章第二节的方法，设近点月的长度是 D 天，所求年冬至到上元有 NA 天，每过 D 天就是一个近点，所以：

$$(NA \div D)_{\text{取余数}} = g$$

$$g - d = h$$

h 就是所求年十一月平朔到近点的距离。

下面还是引用《麟德历》月离表的一部分，解释其计算方法。

《麟德历》月离表(部分)

变日	离程	增减率	迟速积
一日	985	增 134	速初
二日	974	增 117	速 134
三日	962	增 99	速 251
四日	948	增 78	速 350
⋮	⋮	⋮	⋮

表中“变日”指离开近点的天数，“离程”是一天当中月亮的实际运行度数，分母为 67，单位是度。增减率是该日月实行度与月平行度之差除以月每日平行度的商，即$\frac{MM'}{月速}$。《麟德历》以此来代替$\frac{MM'}{月速-日速}$，即月亮改正值，如前节所说，这是有毛病的。增减率的分母是 1340，单位是天。迟速积是增减率的累积值。该历取月速为$\frac{895}{67}$，故增减率的算法为：

$$\frac{\frac{985}{67}-\frac{895}{67}}{\frac{895}{67}}=\frac{90}{895}=\frac{134}{1340}$$

$$\frac{\frac{974}{67}-\frac{895}{67}}{\frac{895}{67}}=\frac{79}{895}=\frac{117}{1340}$$

………

对于某一个平朔时刻来说，它不一定正好是离近点的整数天，因此又要用内插法来求任何时刻的月亮改正值。其方法在上一节中已经解释。但是，此时 AB 和 BH 是一天之长，为 1340，μ 称做总法，BC 称做$\frac{通率}{总法}$，ED 称做$\frac{率差}{总法}$，AF 称为入余（是所求的某一个平朔时刻到近点距离，称入变日整数天后的余数），AFGD 称为经辰变率，是上述余数部分的增减率，其整数天部分的总增减率查月离表的迟速积可得。按上所述，

$$经辰变率=\left(\frac{通率}{总法}+\frac{率差}{总法}-\frac{1}{2}\times\frac{入余}{总法}\times\frac{率差}{总法}\right)\times入余$$

如上节所述，这是前多时的情况，如将前少时的情况也合并起来并化简上式可得：

$$经辰变率=\left[通率\pm\left(率差-\frac{1}{2}\frac{率差}{总法}\times入余\right)\right]\times\frac{入余}{总法}$$

前多时用正号，前少时用负号。

这一公式的推导是依据梯形面积公式而来的。对于太阳视运动来说，其不均匀性较小，用直线梯形来做近似，误差不大；但对月亮运动来说，用直线梯形来考虑只能作为一级近似。因此，麟德历的术文中又有一段求变率（即经辰变率）增减率（这一名词述文中未出现，作者依述文暂起的名。其详细算法参见刘金沂、赵澄秋：麟德历定朔计算法，《中国天文学史文集》第三集，科学出版社，1984 年）的计算方法，其几何原理如同上述，结果也颇为相似，这里录其结果而省去详细推导，可参见所引论文。

$$变率增减率=\left[通率\pm\left(率差-\frac{率差}{总法}\times转余\right)\right]\times\frac{变率}{总法}$$

前多时取正号，前少时取负号。

其中 $$转余=入余\pm\frac{1}{2}变率$$

入变日是十四日以前取负号，十四日以后取正号。

总结前述几个公式，得到求月亮改正值的计算方法：

$$月亮改正值=迟速积\pm经辰变率\pm变率增减率$$

右边第一项是入变日整数部分的增减率总和，第二项是入变日整数天以后余数部分（入余）的增减率一次修正值，第三项

为二次修正值。当然还可以再做三次、四次修正值，等等。

平朔时刻与定朔时刻之差是太阳改正值与月亮改正值二项，利用上节和本节求得这二项之后，再加到平朔时刻上以后就得到定朔时刻，这就是第三期历法计算定朔的具体方法。

为明了起见，现举一例，试计算龙朔三年（664 年）十一月定朔。

查《麟德历》，该年距上元 269880 年（N），回归年长 $365\frac{328}{1340}$天（A），朔望月长 $29\frac{711}{1340}$天（B），近点月长 $27\frac{743\frac{1}{2}}{1340}$天（D），按公式计算：

$$a=(NA\div 60)_{\text{取余数}}=269880\times 365\frac{328}{1340}\div 60|_{\text{余}}=\frac{240}{1340}$$

（冬至干支，甲子）

$$b=(NA\div B)_{\text{取余数}}=269880\times 365\frac{328}{1340}\div 29\frac{711}{1340}|_{\text{余}}$$

$$=13\frac{350}{1340}$$

$$g=(NA\div D)_{\text{取余数}}=269880\times 365\frac{328}{1340}\div 27\frac{743\frac{1}{2}}{1340}|_{\text{余}}=$$

$$27\frac{297\frac{1}{2}}{1340}$$

十一月平朔干支 $=a-b=46\frac{1230}{1340}$（庚戌）（不够减时加 60 再减）

十一月平朔距近地点 $= g - b = 13\frac{1287\frac{1}{2}}{1340}$（不够减时加 D 再减）

大雪节干支 $= a - \frac{A}{24} = \frac{240}{1340} - 15\frac{292\frac{5}{6}}{1340} = 44\frac{1287\frac{1}{6}}{1340}$（戊申）

可见十一月平朔在大雪节后二日不足，约为二日，即气朔距约为2。查日躔表知大雪节盈朒积为 -54，属于前少的情况，算得该气初率$\frac{50}{14.67}$，别差$\frac{8}{(14.67)^2}$，按公式算得：

气内改正 $=$ 初率 $\times$ 气朔距 $- \frac{1}{2}$别差 $\times$ 气朔距$^2 \doteq 6.7$（朒）

太阳改正 $=$ 盈朒积 $+$ 气内改正 $= -54 + 6.7 = -47.3$

十一月平朔的入变日为13，入余为 $1287\frac{1}{2}$，该日迟速积为 -223，算得通率129.5，率差17，属于前少的情况，由公式(4.5)算得：

$$经辰变率 = [129.5 - (17 - \frac{1}{2} \times \frac{17}{1340} \times 1287\frac{1}{2})] \times \frac{1287\frac{1}{2}}{1340} \doteq 116$$

由公式(4.7)算得：

$$转余 = 入余 - \frac{1}{2}变率 = 1229\frac{1}{2}$$

由公式(4.6)算得：

$$变率增减率 = [129.5 - (17 - \frac{17}{1340} \times 1229\frac{1}{2})] \times \frac{116}{1340} \doteq 11$$

由公式(4.8)算得：

$$月亮改正 = -223 + 116 + 11 = -96$$

$$十一月定朔干支 = 46\frac{1230}{1340} - \frac{47.3}{1340} - \frac{96}{1340} = 46\frac{1086.7}{1340}(庚戌)$$

这个时刻相当于戌初二刻，约19时28分。

对于民用历法来说，计算定朔一般不用这样的方法，而是简单地用一次内插法来计算气内改正和经辰变率，也不计算变率增减率，故计算工作变得比较简单。仍用上例说明：

$$太阳改正 = 盈朒积 + 气内改正 = -54 + 54 \times \frac{2}{15},] \doteq 46.\ 8$$

其中第二项的54是大雪气的先后率，2是气朔距，15是认为一气约有15天。

$$月亮改正 = 迟速积 + 经辰变率 = -223 + 121 \times \frac{1287\frac{1}{2}}{1340} \doteq -107$$

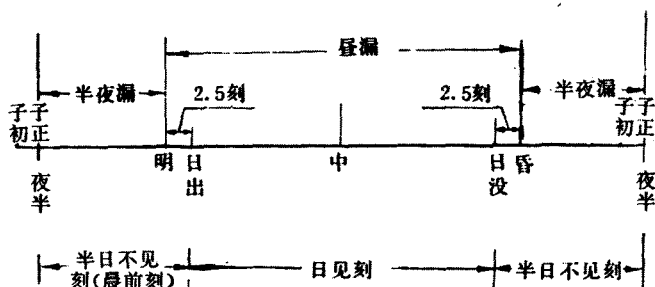
其中121是第十三日的增减率，$1287\frac{1}{2}$是入余。

$$十一月定朔干支 = 46\frac{1230}{1340} - \frac{46.8}{1340} - \frac{107}{1340} = 46\frac{1076.2}{1340}$$

这个结果同上面计算的相差无几。

晷漏和中星

晷是日影，漏是刻漏。由于太阳赤纬的变化，每日中午的影长不同，昼夜时刻的长短不同，冬夏至是两个极点。冬至影最长，昼最短，夏至影最短，昼最长。步晷漏或作步轨漏术即是计算各节气及一年中每一天的日影和昼夜长短的方法。显然，这同太阳的去极度有关。中星是指晨昏时刻正处于南中天的星，由于太阳每天在恒星背影上东移，故每日同一时刻处于南中天的星不同，这跟太阳每日东移的量有关。它可以用中天的宿度表示，也可用晨昏的太阳距中天的度数（去中度）表示。在第一、二期历法中就有相应的术文，但那时是用平均运动步算；第三期历法，认识到太阳视运动的不均匀，故在计算中也开始用不均匀运动步算。

由于地球大气对阳光的散射，日出前天已亮，日没后过一段时间天才黑，这叫晨昏朦影。因此，昼夜漏的开始不是日出没时刻。古历一般规定日出前2.5刻为昼漏的起点，日没后2.5刻为夜漏的起点。一天分100刻，又分十二辰，故1辰 $=8\frac{1}{3}$刻，一辰又分初、正二段，故每段为半辰 $=4\frac{1}{6}$刻，一天的起点是夜半，为子正，而十二辰从子初算起。

刻漏与十二辰

所以对于日出日没辰刻和昼夜漏的起点辰刻都需要化算。

由于太阳在黄道上运动，太阳赤纬随时变化，致使每日的晨前刻都不同，这就要借助步晷漏术。步晷漏术的名称虽然从唐《大衍历》才开始有，但《大衍历》之前的历法就有相应的算法，即使第一、二期历法中也有晷漏中星表，按24节气给出各气初日的晨前刻或夜漏刻之半，还有阳城晷景长度，黄道去极度（即太阳去极度），昏去中星度（即昏中度），昏旦中星等内容。第三期历法的表中又增加每日的陡降律和消息衰（或屈伸率、发敛差），各历名称不同，意思是指逐日的变化量和累积数，这是考虑太阳视运动不均匀的需要。

根据实际观测，冬夏至昼夜漏刻之差为20刻，而太阳去极度为48度（黄赤交角为24度），按比例计算，太阳去极每差2. 4度昼夜漏刻差一刻，所以，相邻二气昼夜漏刻差$=\frac{20}{48}\times$去极度差。刻差和去极度差两项只要知其一项，另一项即可求。《麟德历》用屈伸率和每日的发敛差来累计刻

差，求得每日刻差以后即可求每日的晨前刻和太阳去极度。

现在仍以《麟德历》为例说明之。下表是《麟德历》晷漏中星表的一部分：

《麟德历》晷漏中星表（部分）

定气	晨前刻	昏去中度	黄道去极度	屈伸率	发敛差
冬至	30 刻	82 度 2 分	115 度 3 分	伸一 3 分	益 16
小寒	29 刻 54 分	83 度	113 度 1 分	伸三 7 分	益 16
大寒	29 刻 18 分	84 度 8 分	110 度 7 分	伸六 7 分	益 22
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

每刻为 72 分，故 1 辰是 8 刻 24 分。设要求冬至后 10 日的晨见刻及各量，依术文："置其气屈伸率，各以发敛差损益之，为每日屈伸率。差满十从分，分满十，为率。各累计其率为刻分。百八十乘之，十一乘纲纪除之，为刻差。各半之，以伸减屈加晨前刻分，为每日晨前定刻。……以三十四约刻差，为分，分满十为度，以伸减屈加气初黄道去极，得每日，以昼刻乘基实，二百乘总法除，为昏中度。"每日发敛差 16，10 日累计 160，为 16 分，加气初 13 分，为 29 分，这样即可求出：

晨前刻：30 刻 $-\left(\dfrac{29\times180}{11\times16}\right)\div2$ 分 $=30$ 刻 -14.8 分

$=29.79$ 刻 $=29$ 刻 57 分

昼刻：$(100-2\times29$ 刻 57 分$)+5$

$=(100-59$ 刻 42 分$)+5$

$=45$ 刻 30 分

昏去中度：$(45.42\times365\frac{328}{1340})\div200$

$=82.94$ 度

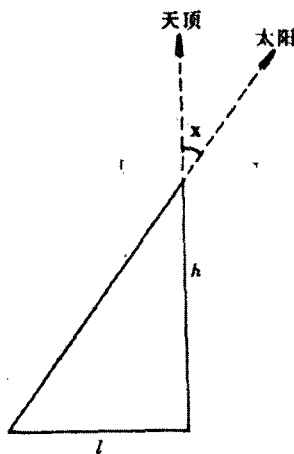
黄道去极度：115.3 度 $-(29.6\div34)\times2$

$=113.6$ 度

三角函数法求影长

至于从太阳去极度推求晷影长短，《大衍历》设计了一套计算方法。实际上，根据简单的三角函数关系由太阳去极度可以方便地得到八尺之表的影长。中国古代天文学家用巧妙的代数学方法解决了这一问题，体现了中国天文学的特色。计算公式为：

$$\frac{影长\ l}{表高\ h}=\mathrm{tg}x$$

x 是太阳的天顶距，即太阳去极度减去天顶去极度的差。表高 h 是 8 尺，故 $l=8\mathrm{tg}x$。在《大衍历》中，以 x 为引数给出了影长 l 的值，即 $8\mathrm{tg}x$ 的值，x 从零度到 78 度。这实际上是编出了一份正切函数表。利用这个表，可以从影长查得天顶距，进而求得去极度，也可以从去极度求出天顶距后，再查表得影长。这样在角度和长度之间就建立了联系。这在我国天文学史和数学史上都是一大进步。

宇宙无限和天地成亡

尽管盖天说和浑天说在我国有广泛影响，它们都主张天体附缀在有形质的天盖或天球上，但是关于宇宙无限的思想也在我国流传。这类思想有的认为天是无形质的无限空间，如宣夜说；有的认为在有形质的天之外还有无限的宇宙，如张衡的《灵宪》。对于这无限的内容又包含有空间和时间二方面，实际上就是时空无限的统一。

战国时代，后期墨家的论述中具体讲到了宇宙的时空含义，《墨经》曰：“宇，弥异所也。”《经说》解释为：“宇，蒙东西南北。”《墨经》曰：“久，弥异时也。”《经说》解释为：“久，合古今旦莫。”这里久同宙，莫同暮，二句话的意思是说宇宙为空间和时间。战国时代的尸佼也有类似看法，后人辑录成书的《尸子》中提到：“上下四方曰宇，往古来今曰宙。”空间和时间的统一在于它们的紧密结合，《墨经》曰：“宇或徙，说在长宇久。”意思是说，空间的迁移（徙）使得时空都变化了（长）。《经说》的解释是：“长宇，徙而有处，宇南宇北，在旦有在莫，宇徙久。”这个意思也就是空间的变化，迁移又静止，或南或北，而时间上相应有早晚之变，结果是时空都变迁了。

张衡是著名的浑天说学者，他阐述了浑天说的天地结

构，在作了“浑天如鸡子，地如鸡中黄”的比喻之后又说：“过此而往者，未知或知也。未知或知者，宇宙之谓也。”“宇之表无极，宙之端无穷。”他将宇宙和天地作了区分，在有形质的天地之外是未知或知的宇宙，而这宇宙是无极无穷的。这种无限观虽然还不能同宣夜说相比，但主要是由于对我们日常所见的天空有局限认识所致，他将无限的宇宙与直观感觉中的天地区别开来还是有一定现实意义的。

用现在的观点来看，我们所见到的天空就是无限的宇宙，但古人对所见之蓝天却有自己的理解。他们认为自古所见之日月星在我们的天地之内，我们的这个天地之外还有另外的天地，在那里是另一番世界。且看一段颇带神话色彩的对话：

姑射谪女问九天先生曰：天地毁乎？

答曰：天地亦物也，若物有毁，则天地焉独不毁乎？

问曰：既有毁也，何当复成？

答曰：人亡于此，焉知不生于彼？天地毁于此，焉知不成于彼也？

问曰：人有彼此，天地亦有彼此乎？

答曰：人物无穷，天地亦无穷也。譬如蛔居人腹，不知是人之外更有人也；人在天地腹，不知天地之外，更有天地也。故至人坐观天地，一成一毁，如林花之开谢耳，宁有既乎？

这则小故事包含了丰富的思想，这里承认，天地是物质的，天地有成毁之演变过程，天地是宇宙中的一个局部区

域，天地之外更有天地，宇宙中有无限的天地。由于这无限天地的不断成毁，构成了宇宙的无限。

“或问天地有始乎？曰：无始也。天地无始乎？曰：有始也。未达，曰：自一元而言，有始也；自元元而言，无始也。”《豢龙子》的这段话也表达了上述思想。

尽管在古代尚没有近代科学的理论武装，古人对天地起源和演化的论述缺乏理论基础，只能停留在思辩的范畴内，但他们用变化的眼光来看待天地，用无限的概念来对待具体事物的演变，确实包含着朴素辩证的思想因素，成为中国古代宇宙理论的重要成就。

星名

当你翻看一张古星图或打开前面提到的《步天歌》，你马上会为各种古星名而眼花缭乱。如果你还知道一些现代星座的名字，你也马上会感到这两者有多么明显的不同！是的，中国古星名同现代流行的星座是完全不同的两个体系。

现在流行的星座和星名基本上是古希腊的体系。将全天分成若干区域，每一区域就是一个星座，将该区域内的亮星按某种想象用线联结起来，构成各种图形，赋于各种名称。目前通用的星座共88个。名称多系各种动物和神话故事中的人物、用品。

中国古星名是一个庞杂的体系。这可能说明了这些星名的产生不是一时一地一人的作为，它综合了不同时代、不同地域和不同人物的贡献而成为这个样子。

如果粗略地将中国古星名进行归纳，大体可有如下10大类。

生产生活用具类：北斗、南斗；箕、毕、弧矢、屏、天囷、天仓、天苑、天园、天廪、天船、天津、杵、臼、五车，等等；

人物类：人、子、孙、老人、丈人、农丈人、王良、造父、奚仲、织女，等等；

官职类：帝、太子、上卫、少卫、上丞、少丞、上将、次将、上相、次相、郎将、从官、幸臣、谒者、五诸侯、侯、虎贲、进贤、执法、摄提、御女、七公、太尊、文昌、三公、九卿，等等；

军事类：骑阵将军、天大将军、骑官、积卒、车骑、垒壁阵、天枪、座旗、参旗、左旗、右旗、军井、军市、军南门、斧钺、铁锁、钺、羽林军，等等；

动物类：鱼、龟、鳖、狗、天狗、天狼、狗国、野鸡、螣蛇、天鸡，等等；

国名地名类：魏、赵、中山、九河、河间、晋、郑、周、秦、蜀、巴、梁、楚、齐、燕、南海、徐、东海、吴越、南河、北河，等等；

贸易类：列肆、屠肆、车肆、斛、帛度、天钱、酒旗、市楼，等等；

建筑类：天街、天庙、天垒城、南门、天门、天关、离宫、器府、车府、天厨、厕、灵台、明堂、长垣、罗堰、坟墓、天牢、神宫、天厩，等等；

自然类：月星、霹雳、雷电、云雨、积水、梗河、天阴，等等；

其他类：阿星、耀、常陈、玄戈、平星、招摇、天馋、卷舌、附耳、傅说、伐星、四渎、钩铃、长沙、建星、河鼓，等等。

当然，还有二十八宿的一组名称。

命名，往往带有某种含义，还同人们的经历、思想、哲

学逻辑有关。古人对天空很崇拜，给天星命名也会含有不同的意识，那众多的官职名称可能出自统治制度逐渐完善后的官员，而大量的生产生活用品名称可能来源于广大的原始劳动者之口。随着人们对恒星的不断认识，数量和名称逐渐增长，形成了带有中国特色的星名系统。

除了在书上看到的大量古星名，在我国各地民间还流传着一些别名，这些别名往往同一些美丽的故事联在一起。例如牛郎织女的故事，就同银河两旁的河鼓（牛郎）和织女星相关。河鼓三星和心宿三星还有另外的名称，分别称为石头星和灯草屋。有一则故事说石头和灯草分别是前娘和后娘生的儿子，后娘让前娘生的儿子挑石头，让自己生的儿子挑灯草。这一天遇上了大雨和顶头风，石头既不吸水，受风的阻力也小，所以他顺利地渡过河到达河东；而灯草吸足了水，份量又重、体积又大，大风顶着走不上前，仍远远落在河西。此外，尾宿的最后二星正在银河边，夏夜在南方天空闪亮，人们称她们为姑嫂车水星，好像她们正利用夏夜的凉爽时刻辛勤地车水灌地哩！

冬夜星空中的昴星，民间称为“七姐妹”星，鄂伦春人称为“那里那达”，意为七仙女。附近的毕宿称为猪星，东边的参宿称“玛恩”，是个妖精，毕参之间的小星是玛恩的弓箭。这个妖精老想追上七仙女并要同她们结婚，而那头猪就回头拱它，因而玛恩用弓箭去射猪头，但因为没对正，所以总射不着，它的目的也达不到，只好永远这样呆在天上。在海南黎族人民中昴星称为“多兄弟星”，即六个兄弟

在一起，说另外还有一个小兄弟星，本来生活在一起，但六个哥哥都结婚后就谁也不养活小兄弟了。小兄弟看见月亮又大又亮，心想那里一定有吃的，就跑到那里去了，在那里开荒种地盖房子，还同一个仙女结了婚。六个哥嫂看见小兄弟富裕起来了，就叫他们回去，但小兄弟不喜欢这些无情无义的兄嫂，无论如何也不回去，所以昴星里只看见六个星。在中原地区，昴星在大地回暖季节的早晨高悬南天，催促人们及早春耕，故也被称为犁星和犁头星。

从上述故事可见，天文学从古老的时候起，就同人们的生产活动和日常生活紧紧相联。给星辰命名，也反映了人们的辛勤劳动，对美好的追求，对邪恶的憎恶和反抗，这是多么真挚而朴素的情感啊！

古日食与地球自转

自古以来，人们用一天作为计量时间的基准，这就是地球自转一周所需的时间。在这样做的时候大家不自觉地承认地球自转周期是不变的。但从18世纪以来的天文观测中就已发现了这一问题，随着计时测时科学的发展，20世纪终于确认了地球自转是不均匀的，因此以地球自转作为计算时间的传统观念发生了动摇，天文学上不得不用均匀的时间系统来做基准，出现了历书时和原子时系统，以区别于用地球自转而确立的世界时。不过由于民用时的要求不必那么精确，所以人们日常使用的是一种协调世界时。

地球自转不均匀表现为三种变化，一是长期减慢，二是不规则变化，三是周期性变化。

长期减慢是逐渐累积的，由于地球自转变慢，一天的长度在增加，古时候一天较短，现代较长。引起地球自转长期减慢的主要原因是潮汐摩擦，因为潮汐总是逆着地球自转的方向，它使地球自转的角动量减少，而因地月系角动量守恒，故月亮逐渐远离地球，月亮绕地球的公转周期变长，根据古珊瑚化石和浅海里一种鹦鹉螺化石生长线的研究，发现日长和朔望月长度在历史上的情况如下表：

地质年代日长情况表

地质年代	日长（小时）	一年的天数	朔望月天数
寒武纪（约5亿年前）	21	415	31.5
泥盆纪（约3.8亿年前）	22	396	30.5
石炭纪（约2.9亿年前）	22.6	391	30.1
中生代末（约7千万年前）	23.67	370.3	29.9
目前	23.95	365.26	29.53

不规则变化是时快时慢，慢的在几十年或要更长时间内发生微小变化；中等的在10年时间内发生明显变化；快的在几星期到几个月内发生较大变化，这种变化能比微小变化大100倍。引起这些变化的原因正在探讨之中，可能由地核与地幔间的角动量交换或海平面与冰川的变化引起，也同地面上风的作用有关。

周期性变化是本世纪30年代才发现的，主要同季节有关，表现为春季慢、秋季快，这是由风的周年变化引起。此外还有以半年为周期的变化，这是因为地球轨道为椭圆，日地距离周期性地远近变化，引起太阳潮汐的不同。至于以一月和半月为周期的微量变化则是因月地距离有远近，月球潮汐不同所致。

三种变化中以长期变化最值得研究，因为这同地球月亮的演变以至太阳系的演化研究有密切关系，对太阳系稳定性问题也有联系。长期减慢使日长增加，根据现代的测量，其数量约为每世纪日长增加1～2毫秒，即现今的一天比100年前的一天长0.001～0.002秒，一般取0.0016秒。别看这个数字很小，长期累积起来就是非常可观的。现以1毫

秒计算：

100 年累积：0. 001 ×365 ×100 =36. 5 秒

200 年累积：0. 001 ×365 ×100 +0. 002 × 365 ×100 = 109. 5 秒

300 年累积；0. 001 ×365 ×100 +0. 002 ×365 ×100 + 0. 003 ×365 ×100 =219 秒

……

2000 年累积：$365 \times 100 \times 10^{-3}$ （1 +2 +3 +…… +20） =7665 秒

可以看到，在公元 1000 年附近，累积差 30 分钟以上，公元 600 年，差 1 小时多，公元 0 年，差 2 小时 10 分，公元前 700 年，差 5 小时以上。

由于上述时间的累积差，必然使我们按现今的日长而计算的古代日食同古代实际观测的情况产生差别，这一差别有二种表现形式，一是全食带的经度东移，二是某地食甚时刻推迟。这一现象在上世纪末德国天文学家奥泊子等人编算《日月食典》时已经发现，但那时人们对地球自转长期减慢的现象尚不清楚，他们只能按实际情况做些经验性的修正。

20 世纪 20 年代天文学家福瑟林厄姆和德西特想到可利用古代日食记录来求观测时刻与计算时刻的积累差值，进而探索日长增加的规律。他们只收集到古巴比伦和古希腊的 5 次日全食资料，得到的结果虽比现代测定值大了几乎近一倍，但这毕竟开拓了这一领域的研究方法。1939 年，琼斯利用 200 多年来行星和太阳的观测资料从理论上求出地球自

转的相对变化，发现日长的增加大约每世纪0.0016秒。这一数据为许多人公认，研究工作暂告一段落。

1938年狄拉克提出，引力常数G减少的问题需要验证。1961年迪克得出G的减小不会大于每年10^{-11}。而人造卫星上天以后的长期观测却发现，地心引力常数GM的减小大约是每年2×10^{-10}左右，比迪克的数据大了20倍。有人认为这是G减小的一个验证，但有人认为这是因地球质量M在减小所引起的。根据现代的研究，使地球自转长期减慢而引起日长增加的因素有六项，各自的效果列于下表：

引起日长变化的诸因素

原因	加速度（秒/世纪^2）	日长变化（秒/世纪）
月潮	-995	增加0.0018
日潮	-292	增加0.0005
海平面上升	-384	增加0.0007
大气潮	+77	减少0.0001
行星际电磁场	-278	增加0.0005
地球质量减小	+949	减少0.0017
合计	-925	增加0.0017

从上表可见，如不考虑地球质量减小，日长的增加每世纪为0.0034秒，而目前的观测值是0.001～0.002秒，一般取0.0016秒。看来地球质量的减少因素不可忽视，而G的减小可能是微不足道的。

由于这一系列因素，古代的日食记录再次受到重视，因为这毕竟是一种有别于现代观测的资料。1969年以后，罗·牛顿、姆勒、斯蒂芬逊等人重新分析古代日食资料，尤

其利用了9项中国汉代以前的古记录，得到了大致跟现代测量一致的结果。牛顿认为，中国的古记录非常可靠。

进行这一项研究，对中心食（日全食或日环食）只要有见食地点或时刻就行。中国古代的日食记录往往无见食地点的明确记载，但在历代的都城都建有天文台，故可将见食地点定在都城。至于见食时间，由于古代的时刻制度和计时精度都有误差，给研究工作带来困难，但是只要记录日足够古老，就可以降低相对误差。从上面的估算可见，古代记录应选用公元600年以前的，最好选汉代之前的古日食记录。

20世纪80年代初，北京天文台李致森、韩延本等人对春秋时代到初唐1400多年间的88次中心食记录做了系统分析。他们用历书时标准逐一计算出每次食的中心线，定出每次食中心线上与观测地点纬度相同的点，该点的经度与观测地点经度的差化成时间差，就是所求的计算值与观测值的时间累积差值ΔT。这是因为历书时标准的古代日食中心线与实际发生日食时地球表面上的见食中心线之差主要表现在经度方面，纬度方向的漂移较小。

他们绘出了88次日食的ΔT值随时间的变化图，可以看出越到古代Δt值越大的趋势。这一趋势就表示了地球自转变慢的累积效应，据其平均值就可以求出地球自转长期变慢的速率。将这一结果同最近200年来的天文观测相比，发现同现今的值接近（参见《天体物理学报》4卷2期，第107页）。

笔者曾从古代记录的见食地点方面分析，发现笼统地定

为都城所在地会带来 ΔT 值弥散过大的毛病，因而提出一种修正方案。经修正后可以降低弥散，改善计算结果。

应该指出，该问题的研究还只是开始，要拟合一个较好反映历史时期地球自转速率变化的 ΔT 曲线还有待于利用更多的古代天象记录和多种方法。上面提到的只是一种方法，即中心食法，而且只用了见食地点一个参量。其实可以用来做此项研究的还有其他参量，如见食时刻，偏食的最大食分，月食、月掩星、行星冲时刻，春秋分和冬夏至时刻等，一般说来，对于地域性差异较强的天象，如中心食带，行星掩星，月掩恒星等，可利用它们的记录地点，对于可见地域广大的天象，可利用它们的记录时刻。当然如何利用这些古记录，还有待理论研究和处理方法的提出，以及相应的计算技术。目前这一领域的研究正成为天文地球动力学研究的一个课题，大有发掘之必要。

彗星记录

古代彗星记录的整理研究尚有待进一步开展，目前的工作还仅在于确定哪些记录属于同一个彗星的若干次观测或同一个周期彗星的多次回归。研究工作中对哈雷彗星的轨道和长期运动较为成熟，且得到了一些有趣的结果。

我国有哈雷彗星的最早记载，而且有连续 30 多次的回归记录，历时 2000 多年，这一份珍贵资料已为许多研究者利用。我国天文学家张钰哲利用这份资料计算了哈雷彗星 40 次的回归运动，旅居爱尔兰的华侨天文学家江涛计算了 45 次回归的轨道根数。由于望远镜使用于天文观测以后，欧洲的天文观测比较精密。哈雷本人在 1705 年计算了 1531、1607、1682 年 3 次回归的轨道，确认它是一个周期彗星，并预言 1758 年还会回来。以后的 1758、1935 年 2 次回归轨道也被精确计算过，所以现代的计算以这些轨道为基础，再往前就得参照中国古代的记录。在哈雷彗星的回归运动中，由于经过巨大的行星天王星、海王星、木星和土星等附近，它的轨道受到摄动，因此要考虑这些行星的影响。1968 年，米切耳森首次指出，非引力效应会使哈雷彗星的速度减慢。这是因为如果彗星核是一个外围有气壳的干冰团模型，当它运动到太阳附近时，

蒸发出的水气和其他离子受太阳光压力的作用抛向后方，形成彗尾，火箭效应大约使哈雷彗星过近日点的时间要推迟四天以上。江涛在1981年的计算中既考虑了各大行星的摄动，又考虑了这一因素，因而其结果同张钰哲1978年的计算略有不同。

哈雷彗星历史回归情况

序号	过近日点日期		中国历史年号	周期		估计视星等
	江	张		江	张	
0		1986.2.9			76.011年	+2
-1	1910.4.20	1910.4.19	清宣统二年	76.08	75.992	0
-2	1835.11.16	1835.11.11	清道光十五年	76.27	76.858	0
-3	1759.3.13	1759.3.7	清乾隆二十四年	76.89	77.663	-1
-4	1682.9.15	1682.9.9	清康熙二十一年	77.41	75.630	0
-5	1607.10.27	1607.9.27	明万历三十五年	76.06	75.168	0
-6	1531.8.26	1531.7.19	明嘉靖十年	76.50	76.571	-1
-7	1456.6.9	1456.4.28	明景泰七年	77.10	76.086	0
-8	1378.11.10	1378.10.7	明洪武十一年	77.76	77.740	-1
-9	1301.10.25	1301.10.17	元大德五年	79.14	77.388	-1

续表

序号	过近日点日期		中国历史年号	周期		估计视星等
	江	张		江	张	
-10	1222.9.28	1222.11.7	宋嘉定十五年	79.12	79.675	-1
-11	1145.4.18	1145.6.18	宋绍兴十五年	79.02	79.004	-2
-12	1066.3.20	1066.5.4	宋治平三年	79.26	78.509	-4
-13	989.9.5	989.10.9	宋端拱二年	77.14	76.584	-1
-14	912.7.18	912.7.8	后梁乾化二年	77.45	77.516	-2
-15	837.2.28	837.1.6	唐开成二年	76.90	75.554	-5
-16	760.5.20	760.4.19	唐乾元三年	77.00	75.132	-2
-17	684.10.2	684.9.27	唐光宅元年	77.62	77.529	-2
-18	607.3.15	607.4.2	隋大业三年	77.47	78.246	-4
-19	530.9.27	530.10.18	梁中大通二年	78.90	78.869	-3
-20	451.6.28	451.6.29	刘宋元嘉二十八年	79.29	78.419	-3
-21	374.2.16	374.1.21	晋宁康二年	78.76	77.382	-3
-22	295.4.20	295.3.18	晋元康五年	79.13	78.528	-3
-23	218.5.17	218.3.8	汉建安二十三年	77.37	77.906	-4
-24	141.3.22	141.2.13	汉永和六年	77.23	77.548	-4
-25	66.1.25	65.12.23	汉水平八年	76.55	76.425	-7
-26	-11.10.10	-11.9.27	汉元延元年	76.33	74.965	-5
-27	-86.8.6	-86.8.15	汉武帝后元二年	77.12	76.998	

续表

序号	过近日点日期		中国历史年号	周期		估计视星等
	江	张		江	张	
-28	-163.11.12	-162.1.20	汉文帝后元二年	76.88	77.094	
-29	-239.5.25	-239.8.2	秦王政七年	76.75	76.488	
-30	-314.9.8	-314.12.6	周慎靓王六年	76.17	76.208	
-31	-390.9.14	-390.12.8	周安王十一年	76.12	76.641	
-32	-465.7.18	-465.9.2	周贞定王三年	76.15	73.767	
-33	-539.5.10	-539.11.1	周景王五年	75.73	75.326	
-34	-615.7.28	-614.7.1	周顷王四年	75.70	74.833	
-35	-689.1.22	-689.12.20	周庄王八年	74.35	74.940	
-36	-762.8.5	-761.1.11	周平王九年	74.27	72.850	
-37	-835.5.9	-833.3.12	周共和八年	74.97	73.817	
-38	-910.5.20	-907.6.27	周懿王	75.06	75.193	
-39	-985.12.2	-982.8.17	周昭王	74.53	75.288	
-40	-1058.12.3	-1056.3.7	周武王?	72.68	74.101	
-41	-1128.4.3			70.52		
-42	-1197.5.11			68.89		
-43	-1265.9.5			68.15		
-44	-1333.8.25			69.82		
-45	-1403.10.15			71.86		

江涛从计算中发现，从公元前240年到1910年的29次回归记录中有14次彗星同地球接近到0. 25天文单位之内（地球到太阳的平均距离为一个天文单位，约1. 495亿公里），最近的1次是837年，接近到0. 04天文单位，唐代对这次回归的记录特别详细。其他还有2次（607和374）也非常接近，距离是0. 09天文单位，141年回归接近到0. 17天文单位。这4次接近均是4月份。但是从公元前315年到公元前1404年的16次回归中，只有2次（前1266年和前1404年）接近到0. 25天文单位之内。这可能是公元前240年之前观测记录特别少的原因。但他感到奇怪的是公元前164年9～10月份，彗星与地球最近为0. 1天文单位，而古代记录在该时期却没有见到。张钰哲认为，这次中国古记录中年和月有误，所见方位与计算相符。

1972年，美国天文学家布莱迪从计算中发现，每次哈雷彗星过近日点时刻有513年的周期性剩余，他认为这可能同一个大质量的冥外行星有关。江涛从天体力学的理论出发指出，对于理想的太阳——木星——彗星三体系统，这一种周期是固有的性质。有趣的是江涛同张钰哲的计算之间也有大约600年的周期性差异，在张的计算中，初始轨道只用1909～1911年间的观测，且没有考虑非引力效应，也不用历史记录随时进行修正，因而这一差别的出现就是理想的三体运动模型所造成的。可见在对古代哈雷彗星的轨道计算中，非引力效应和用古代记录随时进行修正是必要的。

通过多种方法计算，总的发现是哈雷彗星的轨道根数在逐次变化。公元前240年以来，其周期、近日距、轨道偏心率大

致保持不变，而在公元前 240 年之前，由于没有观测资料随时进行修正，近日距在减小，周期在增长，亮度逐渐变暗，这对研究其演化是很有价值的信息。

1985～1986 年回归时人们对哈雷彗星做了许多研究，特别是对彗核的近距观测和物理性质分析，基本证实了以前设想的脏雪球模型、冰核周围的气壳每次回归时都要损失一些质量，必然使哈雷彗星逐渐减弱，直至瓦解。

流星记录

彗星同流星雨的关系在100多年前已被观测到，那是由比拉彗星的分裂瓦解而揭示了秘密。1826年发现了这个短周期彗星，绕日周期是6. 62年，每次回归前天文学家都预先计算了轨道，但在1846年回归时它却在一夜之间分裂成两块，一星期后就成了两个差不多大的彗星，到1852年再见到时，俨然就是两颗彗星在同一个轨道上运动。可这就是它们最后一次露面，以后的回归年份中都找不到它们的踪影，直到1872年11月27日，根据计算这一天应是地球同它们的轨道相遇的日子，当晚人们看到了壮观的流星雨，历时六七个小时，总流星量在16万颗以上。所有的流星似乎都从仙女座的一点发出来，这就是辐射点。人们想到比拉彗星这位久不回归的老朋友，发现这场流星雨就是比拉彗星瓦解以后的残片落进了地球大气层，最后烧掉消失了。1885年11月27日，人们又一次看到了一场流星雨，但规模已不如13年前，可见比拉彗星的残片已进一步瓦解，所剩无几了。

彗星瓦解成流星雨的观测事实揭示了一个演化程序，即流星雨是彗星的归宿，而单个流星可能又是流星雨进一步瓦解的产物。当然，有许多彗星的轨道不同地球轨道相交，它们瓦解后不会落到地球上成为我们见到的流星雨，而是成群结队地在

其轨道上运动，这就是宇宙中的流星群。也有些逐渐脱离原轨道而散布于空间，成为单个流星体。当空间飞行器在飞行途中跟这些“散兵游勇”相遇时，说不定就会酿成一场灾难。

现在已经弄清了8个著名的流星群同彗星有关，这些彗星有的已经瓦解，有的还未瓦解。至于有些未能找到对应彗星的流星群，它们的母体彗星可能在古代早已瓦解了。

在我国丰富的古代彗星记录中，彗星分裂的现象早有记录。《新唐书·天文志》载：“乾宁三年十月（896年11月），有客星三，一大二小，在虚危间，乍合乍离，相随东行，状如斗。经三日而二小星先没，其大星后没。”这可能就是一次能追寻其后踪迹的线索。我国古代的流星群记录有100多条，彗星记录更多，沟通它们之间的关系，从历史上再来寻找彗星和流星雨关系的例证也是有意义的研究课题，可惜现在尚未看到这类工作。

陨石记录

陨石历来是研究天体的重要标本，现在已从陨石中得知空间含有很多种有机分子，给生命起源和演化研究提供了资料。古代陨石由于落地时间长，已受到地球上有机物的浸染，这一方面的研究价值已失去，但对历史上的陨石记录做一些统计分析还是有意义的。

古代陨石的资料过去只收集到不足100条，这对统计研究似嫌太少。20世纪70年代大量明清地方志被查阅，得到数百条古陨石记录，使统计研究有了基础。首先是频数统计；每陨落一次陨石的平均年数，夏商时代由于记录遗失很多，达500年以上才有1次；明清以后，记录频繁，且都保存较好，平均每2年总有1次。这一情况可以想象得到，不足为奇。奇怪的是从秦汉到元朝的1500年间，号称发达的唐代却是陨石记录最少的时期，平均58年才记录1次，而汉代是23年，宋代是18年，这种现象恐怕就不能以记录遗失来解释了。

再做100年、50年、5年频数统计，可以看出，存在明显的起伏变化，唐代688年到896年是延续最长的一个低潮期，200多年中一次陨石记录也没有。有人认为要对这种起伏变化做出解释是不容易的，但可能有二方面原因一定要提及，一是陨石降落有自身的客观规律，二是人们的科技水平、社会状态、关心程度、人口密度和分布。陨石降落密度和人口密度分布的

统计表明，两者密切相关。我国历史上陨石记录最多的地区是：河南、江苏（包括上海）、河北（包括京、津）和山东，这四个地区正是我国人口最多、科学文化最发达的地区。若以平均分布密度来统计，则是江苏、河南、山东、河北，这正好是人口密度的排列顺序。出现这种相关也是可以想象的，因为陨石是要人去发现并记录的。

从月份的分布来看，夏季最多，约占35%，春秋季差不多，各约占25%，冬季只占15%。上半年60%，下半年40%。这个结果与地球在不同季节和月份在太空处于不同的环境，人们的活动程度受季节和月份的影响有关。按陨落时间来分析，白天多黑夜少，约是6：4，这可能是因为白天的陨石落下时与地球相对速度较小，不易烧毁而到达地面的机会较多，也同白天人们的活动较多有关。

关于陨石降落的时序分析，因为大量的陨石记录出现在明清时代，使统计工作不得不分段进行。1479年之前和之后可分成两段，这可能是由于1479年以前的记载不详，有较多遗漏，也可能是陨石降落有超过人类文明史的更长周期。但在两个时段中1年内陨石频数和10年内陨石频数的相关分析都表明，存在着240年的周期性，这恐怕不是偶然的巧合。此外，在620～1479年时段和1400～1920年时段，都出现60年的周期性，这又是一个意外的结果。当然，这仅仅是根据中国局部地区的资料分析所得，它是否显示了全球性的规律，还有待更多的资料来验证。另外，陨石现象并非是孤立的天文事件，应把它同极光、太阳黑子、地震、气象、水文等因素都集中起来做综合性的相关分析。

太阳黑子和极光

太阳黑子是太阳表面上温度较低的区域。出现黑子是正常现象，用望远镜观测几乎每天都可以看到黑子，在太阳活动比较频繁的年份会出现较多的黑子，甚至出现黑子群。在早晨或傍晚，太阳穿过薄云浓雾的时候，光度大大减弱，肉眼也可见到。这种现象我国古代的天文学家不仅观测到多次，而且留下了生动的记录。可以想见，中国古代记录的黑子当然是比较大的黑子群，是太阳活动频繁的重要标志。

太阳黑子出现有 11 年的周期性，这是 100 多年前发现的，当时天体物理学尚未诞生，对太阳的物理性质研究尚未开始，德国天文爱好者施瓦布从 1826 年起每天观测太阳的黑子数目，连续工作了 17 年，到 1843 年他宣布发现了 11 年的周期。天文学家接着又发现地磁扰乱也有 11 年的周期，于是向前追溯太阳黑子的观测记录，得到 1750 年以来这一周期是确实存在的。20 世纪的观测也证实了这一点，因而太阳黑子的 11 年周期成为大家公认的基本规律之一。

但这毕竟是以近 200 多年的观测为基础的，过去的情况如何？我国有 2000 多年的太阳黑子记录，最早的确切时日记录在公元前 43 年。将公元前 43 年至明末 1638 年间 100 多次肉眼可见大黑子群进行统计分析，发现 11 年的周期仍是存在

的，这就为2000年来太阳活动的研究提供了巨大的帮助。

但是，早在1894年就曾有二位天文学家斯波勒和孟德尔指出，在1645～1715年间没有观测到太阳黑子，他们提出这一期间可能是一个太阳活动的极小期，后人遂称为孟德尔极小期。1976年6月，美国青年天文学家艾迪博士在日地物理国际讨论会上，又引用树木年轮中碳14含量等其他资料，重申“11年周期完全可能，只不过是太阳历史最近期的一种暂时面貌”，“当人们困难地搜寻历史记录的时候，11年周期这种情况在近代以前（或许在1700年前后）其实是很少存在的”。

艾迪提出的问题是值得深入研究的，中国古代的黑子记录在正史中讫止于1638年，以后没有出现。日本神田茂收集了中朝日三国正史中的古代黑子记录，在1639～1720年间也是一条没有。在西方望远镜出现后可以看到很多小黑子，但望远镜发明后的100年内（1610～1710）太阳黑子的观测非常零散，直到1749年国际上才正式规定采用沃尔夫相对数由专门天文台连续观测，故1750年以前的望远镜资料也不能应用。因此，要对这一时期的太阳活动情况做出分析，非要有新资料不可。

弥补这一缺陷的是中国地方志，据查在各县志中发现1643～1684年间出现了7次黑子记录，除其中有1次可能是日食外，其余6次可以肯定是黑子记录，可见这一期间太阳活动是存在的。若以地方志的资料考察17世纪的太阳活动，发现从1603～1684年共有记录33条，11年的周期还是存在，只是在1640年

以后的时期中其活动强度确是减弱了。而且1684年以后仍未找到黑子记录。

当然，单凭太阳黑子这一种现象做出的结论还是单薄的。太阳活动所引起的后果是多方面的，地磁扰动、极光、气象异常等都可以用来做综合分析，中国的北极光记录就是一份很好的资料。云南天文台罗葆荣、李维宝从古代极光和大于5.5级地震的统计中发现，两者都呈现11年左右的短周期，说明2000年来11年的周期是稳定的。

在分析古代黑子、极光、碳14等资料中也还发现有中长期的周期性，如公元60年、250年等，无疑这些中长周期的发现又进一步加深了对太阳活动的认识。甚至有的研究者又将更多的地球物理现象同天文现象综合起来考察，发现了更长期的变化规律。重要的一个就是16~17世纪的特殊时期，在这一时期我国陨石降落明显呈高峰状，彗星出现也是一个大峰值，太阳黑子呈现上述的极小期；气候上我国出现5000年来气温最低的“小冰期”，欧洲和世界其他地方也是寒冷时期；这一时期地震特别活跃，单我国8级以上大震就有8次之多，日本、意大利等地火山爆发也特别强烈；超新星爆发平均每1000年才2次，可这期间不到100年就有3次，等等。一系列资料表明这一时期确为一个特殊时期，有人称之为“明清宇宙期”，时间约为1501~1700年的200年。造成这一现象的原因可能同太阳系所处的宇宙环境有关。因为太阳带着太阳系天体家族在绕银河系中心运动，而银河系里的不同区域情况千差万别，明清宇宙期内太阳系可能到达一个星际

物质密度较大的区域，造成彗星、陨石增多，超新星爆发频繁，宇宙线强度明显增加。外界的因素影响了太阳系内部的运动，压抑了太阳的活动，使太阳活动处于低潮，地球气温下降，地壳内部活动增强。宇宙环境的变化引起了地象和天象的特殊变化，这一问题在从分析古代记录和地质资料中提起，目前的研究工作还刚刚开始，这一种解释之外也可能还有其他解释，相信今后会有更大的发展。

行星现象和太阳变化

肉眼可见的大行星除地球外还有5个，即水星、金星、火星、木星和土星，我国古代统称五星，或叫五纬。它们绕日运行，不断改变在恒星间的位置，因而造成许多特殊天象，如行星掩恒星、行星互掩、行星会聚、五星联珠，还有同月亮的掩、合等。行星和月亮的运动可以用天体力学规律计算，因而古代的行星现象就是天体力学理论的实际检验，现代借助高速电子计算机可以将历史上任何时刻的行星位置计算出来，编成行星位置表，如斯塔曼和金格利希的“太阳，行星黄经表”，前2500～2000年，每10天一个值；塔克曼“太阳、月亮行星位置表”，前601～1649年，每5天一个值。这些工作为古代行星现象的研究提供了方便。利用这些表我们发现了“汉高祖元年十月五星聚东井”的天象记事是真实的，只是为了凑合刘邦得天下建立汉朝的历史事件，人为地将出现天象的时间提前了10个月。五星联珠和行星会聚的天象可用以确定某些重大历史事件发生的年代，为历史年代学的研究提供天象依据。如武王伐纣之年，史学界争论多年没有结论，而有的史书载“周将伐殷，五星聚房”，按公元前十一、二世纪五星聚房发生于公元前1076年初，这为武王伐纣的年代提出了另一种看法。

行星靠反射太阳光而发亮，因而行星的亮度必然跟太阳的

辐射有关。古历法中的行星见伏度提供了行星在太阳附近可以看到的角距离，这个数据是行星亮度的反映。因为太阳很亮，太阳附近的星星被淹没在阳光中而看不见，但早晨或傍晚当行星距离太阳远到一定程度时就变得可见了，这个距离就叫见伏度。“见”是看见，表示超过这个限度为可见，“伏”是不可见，表示小于这个限度为不可见。显然，当行星越亮时这个限度越小，行星越暗时这个限度就大，这就是见伏度同行星亮度的关系。

从汉初《三统历》开始每个历法都列出了5个行星的见伏度数据，现列表如下。表中“+”号表示有余，“-”号表示不足，资料来源栏中的数字是指中华书局出版的《历代天文律历志汇编》一书中的页码。

各历五星见伏度

历名	水	金	火	木	土	观测地	年代	资料来源
三统	15^+	15^+	16^+	15^+	15^+	西安	前104	1423页
四分	16	9	16^+	13^+	15^+	洛阳	85	1525
乾象	16	9	16^+	14^-	15^-	洛阳	约180	1610
景初	18	10	16^+	14^-	17^-	洛阳	237	1641
元嘉	17	10	16.5^+	13.5^+	15.5^+	南京	443	1738
大明	16	10	16^+	14^-	16^-	南京	463	1756
正光	17	10	16	13.5	15.5	洛阳	520	1809
兴和	17	10	16^+	14^-	16^-	洛阳	540	1847
皇极	17	11	16	14	16.5	西安	600	1963

续表

历名	水	金	火	木	土	观测地	年代	资料来源
大业	17	11	17	14	17	西安	608	1919
戊寅	17	11	17	14	17	西安	618	2128
麟德	17	11	17	13	17	西安	664	2156
大衍	17	11	17	14	17	西安	727	2262
五纪	17	11	17	14	17	西安	762	2292
正元	17	11	17	14	17	西安	783	2308
宣明	17	11	17	14	17	西安	821	2341
崇玄	17	11	17	14	17	西安	892	2379
钦天	17	11^{+}	19^{-}	14^{-}	17^{-}	开封	956	2425

历名	晨见夕伏		夕见晨伏						
崇天	21	14	11	20	13	16	开封	1023	2607
明天	18	10	11.5	18	14	18.5	开封	1064	2675
观天	21	15	11.5	19	13.5	16.5	开封	1091	2775
纪元	19	14	10.5	19	13	17	开封	1106	2833
统元	19	14.5	10.5	19	13	17	杭州	1135	2931
乾道	19	14.5	10.5	19	13	17	杭州	1167	2931
淳熙	19	15	10.5	19	13	17	杭州	1176	2931
金大明	19	14	10.5	19	13	17	北京	1181	3262
会元	21	16	10	20	13	17	杭州	1191	2931
统天	20.5	15.5	10.5	19.5	13	18	杭州	1199	2998
开禧	20.5	15.5	10.5	19.5	13	18	杭州	1207	2998
西征庚午	19	14	10.5	19	13	17	北京	1220	3499
成天	20.5	15.5	10.5	19.5	13	18	杭州	1270	2998
授时	19	16.5	10.5	19	13	18	北京	1280	3423
大统	19	16.5	10.5	19	13	18	北京	1368	3731

该表清楚地显示了木星的见伏度逐渐减小，而其余4星见伏度增大，这一趋势反映的历史事实到底如何，从天文学上做出解释是很有意义的。

四行星见伏度增大，表示它们亮度降低，其原因不外有三，一是太阳变暗，二是行星反照率减低，三是观测地点、地球大气、观测者的人为因素影响。但是4个行星的反照率不可能都一致地减低，观测条件对4个行星也都是相同的，所以我们只能将更多的注意力倾向于太阳的变化。然而这些因素对于木星也是同样作用的，木星的见伏度为何没有增大反而减小了呢？这只能从木星本身找原因了。

根据现代的观测，木星发出的总辐射大于从太阳那儿接受的辐射，说明木星有本身的能源。这一点已引起天体物理学界的重视。中国古代对木星见伏度的观测资料说明木星在增亮的现象同现代的观测一致，有人甚至认为这一巨大的行星30亿年后可能成为第二个太阳。根据中国古代对木星的观测可以估算它的增亮速率，在近2000多年内它大约每1000年增亮0.003等。

太阳的亮度是否变化，从四行星见伏度增大已发现一些迹象，有人认为太阳的直径可能在变化，或者是缩小，或者是脉动，即有时扩大，有时缩小，这也可从古代观测资料中找到线索。1979年美国天文学家艾迪和鲍纳扎提出了太阳正在收缩的看法。他们系统研究了格林威治天文台1836～1953年间每天中午太阳直径的观测资料，又分析了美国海军天文台1846年以来的太阳中天观测资料，认为太阳的水

平宽度每百年收缩约0.1%（相当于2弧秒），或者说每小时收缩约1.5米。这是一种很快的速度，如果按这种趋势发展下去，20万年之后太阳将要消失。艾迪等人认为这是不可能的，收缩可能是近期的现象，太阳可能是处在短期的脉动之中。

问题提出后引起了不少研究者的注意，两个权威天文台的100多年资料是不易轻易否定的，另一组天文学家索菲亚、奥基夫和莱什着手分析1850年以来太阳常数的观测资料。所谓太阳常数是一个表示太阳辐射能量的数据，规定在地球大气层外距离太阳一个天文单位处垂直于太阳光束的方向上每平方厘米每分钟接受到太阳的总辐射量，现在的测量结果为1.97卡/厘米^2·分钟。这个数虽不大，但地球的截面积很大，所以地球得到的太阳总辐射量还是很多的，地球上一切能源除了地心能和原子能外，都是来自太阳，但地球接受到的比起太阳慷慨地辐射出来的还是小巫见大巫，只有1/22亿，即使这一点的太阳辐射，却维持了地球上的万物和生命活动。

在太阳表面温度不变的情况下，太阳常数是同太阳半径的大小有关的，可以想见，太阳越大，它从表面辐射出的能量就越多。因而测量太阳常数的变化可以探求太阳半径的变化。上面三位天文学家分析了1850～1937年间近百年的资料，结果是太阳常数的变化不超过0.3%，相应于太阳半径的变化不大于0.25弧秒，这一数据只及艾迪等人的十分之一。

1980年又有一组天文学家对250年以来可以用做判断太阳直径变化的几种现象做了系统分析，他们所用的是太阳直径的子午环测量、水星凌日观测和日全食食延时间观测。

格林威治天文台从1836年起用子午环测量太阳前后两边缘过子午线的时刻及太阳中天时上边缘和下边缘的天顶距，得出每天的太阳水平直径和垂直直径数据。水平直径测量主要使用计时器，1915年以后又加上超人差测微器，结果是从1890年以来的测量值明显地不断下降，太阳半径约每百年缩小1弧秒；垂直方向的测量1851年以后使用艾里台长的新子午仪，其缩小趋势不如水平方向显著。他们认为仪器的测量误差对结果影响颇大，太阳半径的缩小比仪器的误差要小些。

水星凌日是水星走到太阳和地球之间，从地球上看来水星圆面呈一个小黑点从日面上通过，该天文现象总发生在5月份和11月份，平均每百年约有14次，最长时间在5月份，是8小时，在11月份是6小时。只要记录下水星进入日面和离开日面的精确时刻，就可以由此计算太阳的直径。按理论计算，只要时刻记录精度为1秒，所求出太阳直径精度可达0．1弧秒，而时刻记录的误差主要来自水星进入日面和离开日面的瞬间不易判断。莫里松曾就1723年至1973年共250年间的30次水星凌日观测的2000多个数据做了分析，发现太阳半径在959．63弧秒上下波动变化，总的趋势是每百年缩小0．14±0．08弧秒，而测量误差大约是±0．1到±0．2弧秒之间。

日全食食延时间是指全食共经历的时间长度，这也同太阳直径有密切关系，利用食延时间来探讨太阳直径变化的原理同水星凌日法一致。共分析了7次日全食（1715、1842、1851、1878、1900、1925、1966年），发现太阳和月亮视圆面半径在平均距离处为959.63和932.58弧秒。根据计算1966年5月20日日全食时，月轮比日轮小0.07弧秒，天文学家马修斯（J. H. Mathers）在希腊一个小岛上观测，该地精确地处在日食中心线的中心，食甚时他拍摄的胶片上显示出有50处倍利珠，经复原可以画出当时的月轮详图，从而可以对太阳半径作出0.22±0.20弧秒的修正。加上这一修正值，发现日食食延时间的观测精度与水星凌日法相近，得出太阳半径的缩小约每百年0.08±0.07弧秒，比艾迪等人的值小了一个数量级（约为1/10）。

综合上述三种观测资料的结果，帕金松、莫里松和斯蒂芬逊认为，最近250年来太阳的直径是不变化的。上述种种变化的分析结果表明其变化值均比仪器、观测手段和人为误差带来的不利影响为小。但他们也承认，根据水星凌日的30次观测发现太阳半径在平均值附近波动，引起太阳表面积有0.02%的周期性起伏，其周期约为80年。

相比起来，中国古代的时刻记录不可能有上述这些观测精确，然而，中国记录的时代较老，也应该为该项研究做出一些贡献。笔者认为，如果太阳半径在缓慢减小，或有大约80年的周期性脉动，在古代的日食观测中似应有所反映。如果古代日轮半径较大，日环食的机会就应多些，尤其是那

些用目前的计算指出古代某次日全食而实际看到的是日环食，这将是很值得分析的事。

在我国古代的日食记录中有 1292 年 1 月 21 日的环食记录，“有物渐入日中，日体如金环然，不能既”，按食典计算，此次食确为环食，计算与观测一致。但 1742 年 6 月 3 日的全食，食带经过日本，食典计算为日全食，而日本的纪录为“宽保二年五月己未朔（1742 年 6 月 3 日）日食既，如金环，少时众星见”，这似乎是看见了环食后又见全食的情景，这一次日食似乎可作为当时日轮较大的证据。

另一项古记录是金星昼见，我国古代有记录近千次，时间延续 2000 年。金星能达到大白天可见的亮度一般在大距或方照前后，根据记录日期可求得该日金星与太阳的角距离，一般在 45～48 度之间，这表明金星的确处于很亮的时期。系统分析近 2000 年来的这一份资料可见，昼见时角距离带有周期性的变化，这可能反映了金星亮度的周期性变化，可能也跟太阳的半径变化有关。总之，中国古代的行星资料目前的研究尚在开始阶段，它是可以在现代天文学问题的研究中发挥作用的。

古代客星

古代客星

古代客星，现在天文学上称为新星和超新星，它们并不是新出现的星，而是原来较暗的星在几天之内突然增亮几万至几千万倍。这是恒星在演化过程中的一种剧烈爆发过程，有的星爆发时抛出大量物质，抛射速度为每秒 500～2000 公里，爆发过程结束后星体亮度逐渐变暗，又回到过去的暗星状态，这种星一般称为新星。这种新星还可能再爆发，直至结束恒星的一生。而爆发特别剧烈的就是超新星，经过爆发或者将物质全部抛出成为一团星云，结束其生命，或者其核心部分留下一些残核，成为白矮星、中子星或黑洞，进入恒星的晚期演化阶段或终结阶段。这些超新星爆发留下的遗迹都是强的射电源、X 射线源或宇宙线源，也是星际重元素的主要提供者。

发现古代客星同现代天文学研究对象之间有联系是几十年前的事。我国古代的天象资料在 1846 年首次以西方文字在法国出版以后，不少研究者纷纷利用这一份资料。1921 年，瑞典天文学家伦德马克编制新星表时列出了我国《宋史》中的一条资料，这是 1054 年天关客星的记录："仁宗至和元年五月巳丑客星出天关东南可数寸。岁余消没。"伦

德马克同时给出一个小注，指出该客星的位置在金牛座蟹状星云附近。

1921 年美国天文学家邓肯拍摄了蟹状星云照片，发现该星云各个细节比以前的照片向外分散了，他大体推算出这个向外扩散的运动开始于 900 年前。1928 年美国天文学家哈勃也指出，900 年前开始的扩散运动可能同中国人记录到的天关客星有关，但此时尚未引起天文界更大的关注。直到 1942 年荷兰天文学家奥尔特和汉学家戴文达共同研究了中国的古记录，确认天关客星是一个超新星，由于它的爆发抛出物质而形成蟹状星云，这一来才广泛引起注意。人们感到天体在不到 1000 年的时间内发生了巨大的变化，古代天象同现代天文学对象间有联系。这是一个很生动的演化实例。

古代客星遗迹

随着射电天文学的兴起，天空中发现了许多射电源，蟹状星云是最强的一个，天文学家感到许多强射电源是超新星遗迹。50 年代，我国天文史家席泽宗系统收集中国古代的客星记录，并设法寻找与之对应的射电源。1965 年席泽宗和薄树人收集了中朝日三国历史上的客星记录，编成《增订古新星新表》，在古代记录和射电源之间进行证认。当时的证认工作还是停留在位置证认方面，但它已引起世界天文界的广泛兴趣。

60 年代蟹状星云脉冲星的发现使超新星遗迹的研究成了天体物理学研究的重要方面，它同恒星晚期演化和高能天体物理现象密切联系，因而古代客星记录的证认工作得到了

进一步发展，找到了几颗著名古代客星的遗迹，它们是：

185 年南门客星——RCW86（G315．4—2．3）

386 年南斗客星——G11．2—0．3

1006 年骑官客星——MSH14—415

1054 年天关客星——蟹状星云（MI）

1181 年传舍客星——3C58

1572 年阁道客星——3C10

（第谷超新星）

1604 年尾分客星——3C358

（克普勒超新星）

由于卫星探测技术的发展，超新星遗迹的数量不断增加，1981 年已公布了 132 个超新星遗迹表。并且现代天文学已有一些方法可以判断其中有些是极年轻的，这些年轻的遗迹有可能在古代客星记录中找到对应体，因此六七十年代在古代记录与现代遗迹间进行证认的研究工作得到了新的进展。

现已收集到了古代客星记录 96 次以上（包括中、日、朝、阿拉伯及欧洲记载），其中我国的 80 项。将它们在银道坐标中的分布和 132 个超新星遗迹沿银经的分布比较会发现，遗迹的分布在银河系中心的方向上集中，而古代客星记录在银河系中心方向和反中心方向都有集中的趋势，反银心方向探测到的超新星遗迹颇少，这可能是今后要加强探索的区域。古代客星记录较为集中的两个方向一是银经 340～40 度之间，另一个是 100～140 度之间（银心方向为银经零

度），而这两个方向正是太阳附近银河系旋臂所在的位置。我们知道银河系中的旋臂是物质集中的地方，星云物质很多，许多恒星在那里生成，而客星爆发是恒星晚期演化的一个过程，可见旋臂是银河系中年轻的恒星诞生、年老的恒生死亡的地方。

过去寻找古代客星记录同超新星遗迹的对应往往只从位置上着手，忽视了物理性质上的联系。1983 年刘金沂提出一种四维证认法，认为要证认某一个古代客星记录同现今观测到的超新星遗迹有联系，应该在方位、距离、年龄三方面都有较好的符合，可用 x、y、z、t 四个量来描述。

方位系指古代客星记录与超新星遗迹在天球上的方向，可用经纬度 x、y 来表示，如古代记录的方位与超新星遗迹的方位相近，可认为 x、y 得到证认。这是建立联系的基础，其后面可进行下二个量的证认。

z 表示距离。超新星遗迹的距离可用现代天文学方法定出，古代记录中一般没有距离，但有时出现视星等 m（即眼睛看上去的光亮程度，越亮的星 m 值越小，太阳的视星等是 -26. 7 等，北极星是 2 等，肉眼刚可见的星是 6 等）。如果某一对古代记录和超新星遗迹已满足方位相近的条件，就可以用视星等 m 和该遗迹的距离 r 通过公式

$$M = m + 5 - 5\lg r - A(r)$$

来求得绝对星等 M。上式中 r 已知，$A(r)$ 是跟距离 r 有关的消光因子，可以根据超新星遗迹所在的方位和距离估计一个值。求得的 M 是绝对星等，它表示恒星的真实亮度。打

一个比方，两个同样亮的灯放在不同的距离上看，显然是远灯显暗，近灯显亮，故看上去的亮暗程度并不表示它们本身的真实情况。要比较它们的亮度必须将它们放在同样远的地方看。根据这一道理，天文学上比较恒星的亮度是看它们的绝对星等，即将恒星放在一个标准距离处的视星等。这个标准距离为32.6光年，我们的太阳在这个距离上只是一个5等小星。如果得到的 M 值大体符合超新星的平均极大星等 −17 等到 −19 等，可认为 z 方面得到证认。

t 是年龄，从客星出现至今就是它的年龄。超新星遗迹的线直径 D 可用天文学方法测出，它的线大小是从古代超新星爆发以来逐渐膨胀而形成的，所以其膨胀速度 V 是：

$$V=\frac{D/2}{t}$$

由此求出速度 V 值，看它是否合理。V 值一般不应大于每秒2万公里，一般在每秒几千公里的程度，这样可判断 t 方面是否得到证认。当然有些超新星遗迹可以直接求出膨胀速度，拿这个速度同计算值比较也可做出判断。

要在四个方面都得到证认往往是不容易的，因为古代的记录给出的信息太少，消光因子 A（r）难以估计准确，超新星遗迹的距离测定会有误差，古代记录中客星方位的理解和视星等的估计也都会出现偏差。因此，即使是四维证认成功的一组对象也只能理解为是可能的结果，还要通过现代研究不断去证实。

目前，利用四维证认法确实取得了一些成绩，如前述大家比较公认的7组古代客星遗迹用这一方法都得到了满意的

结果。同时又发现了一些新的证认对象，如公元 437 年出现的井宿的客星，大白天可以看见黄而带红，它可能同超新星遗迹 *IC*443 相对应；还有公元前 134 年中国和古希腊都见到的房宿客星，可能就是年轻遗迹 *RCW*103 的前身。

目前，超新星遗迹的研究正在深入发展，中国古代客星记录中还有很多未能找到证认对象。有的研究者认为，客星爆发后的形成物可能是多种多样的，也可能在不长的时间内就在宇宙中散布开来，烟消云散，找不到遗迹了，因此，应该放宽思路，寻找新的归宿。有的研究者发现了在相同的位置上时隔不久有二次客星记录，提出超新星有可能出现再次爆发的设想，这些都引起了天体物理界的注意。

《崇祯历书》和第谷体系

明代天文学测算的停顿到了万历年间已酿成了严重后果，万历二十年（1592）五月甲戌夜发生月食，而钦天监推算与实际相差一天，这种错误对于古代天文学发达的中国来说简直是不可容忍的。3 年后，朱载堉和邢云路分别上书改历，并献出自己编撰的新历法。但是顽固守旧的钦天监竭力反对，他们对皇世子朱载堉没有办法，却反诬邢云路“私习历法”犯了祖宗的禁令，改历的建议被取消。万历三十八年（1610）十一月壬寅朔日食，钦天监推算食分和时刻又发生较大错误，改历建议又起，这一次反映比较强烈，连钦天监的主管部门礼部都已同意，并推荐了邢云路、范守己、徐光启、李之藻等人，但最终还是被旧势力阻挠而未成。

崇祯二年（1692）五月乙酉朔日食，钦天监预报又发生明显错误，改历之议复起。此时，徐光启正担任礼部侍郎，由于他的努力，崇祯帝才同意改历，在宣武门内成立历局，并任命徐光启主持此事。这时最初来华的耶稣会传教士利玛窦已在 19 年前死于北京，徐光启、李之藻等人曾同他交往，翻译了《几何原本》前 9 卷，传入了托勒密的九重天宇宙结构，地为圆球的概念，天文仪器星盘等西方古典天

文数学知识。他们深知要改革历法，必须利用欧洲天文学知识中的几何学方法。而对中国传统历法比较熟悉的人邢云路、朱载堉、范守已等人此时已相继去世，因而他们决定此次改历以西法为基础，并推荐了传教士龙华民、邓玉函、汤若望、罗雅谷等人来历局工作。

明末的改历从崇祯二年九月开始，至七年十一月结束，成书137卷，名为《崇祯历书》。这本书是中西天文学合流的第一部著作，以介绍欧洲天文学知识为主。按徐光启的计划，它包括五个部分：法原，即天文学理论，天体运动轨道之类；法数，即天文表，天文数据之类；法算，即天文计算中所使用的数学方法，主要是几何学和三角学；法器，即天文仪器；会通，即中西各种度量的换算表。《崇祯历书》的章节安排则按中国古历法的体系，日躔、月离、交食、行星、恒星等。

就内容来看，《崇祯历书》抛弃了中国古历的代数学体系，以西方天文学的框架进行日、月、行星运动的推算。首先建立起一个宇宙结构体系，这是丹麦天文观测家第谷所创立的介乎哥白尼日心说和托勒玫地心说的中间体系。按第谷体系，月亮绕地球运行，五大行星绕太阳运行，太阳又带着五行星绕地球运行，地球居于中心不动。我们所看到的行星视运动是它们双重运动叠加的结果。这一点就同中国古历法的推算步骤无共同之处了，中国古历法中考虑日、月、五星的运动时从不考虑它们的绕转关系，无需建立各行星的轨道体系。

在日、月、五星各有其绕转轨道的基础上，又建立本轮和均轮系统。天体在均轮上运动，均轮心在本轮上运动，本轮心又在本天上运动，本天心对太阳、月亮来说是地球，对各行星来说是太阳。只要选择各天体的运动速度，就可以组合出日、月的不均匀运动和行星的顺、留、逆等变化，这一套方法在公元前已由古希腊天文学家设计出来，同中国古历传统的代数学方法又是毫无共同之处的。

此外，《崇祯历书》中引入了明确的地球概念，采用经纬度制，周天360度制，一日96刻制，数字的60进位制，赤经坐标从春分点开始分成十二次，每次30度，赤纬坐标从赤道向天极计量共90度；引进黄道和黄极概念，建立黄道坐标系；引入球面和平面三角学，以三角计算代替中国古历中的经验公式和“弧矢割圆术”等等，这一切都同中国古典天文学的体系不同。

尽管这一套体系和方法与欧洲近代天文学的发展状况还有很大差距，第谷体系也是违背客观实际的，但是《崇祯历书》在相当程度上将中国古典的天文体系转到了近代天文学的轨道上，为今后接受新的天文学知识打下了基础。当然，那时的欧洲天文学家们研究的重点还在于太阳系的结构和运动，对于太阳系之外的恒星世界是个什么样子也所知甚少，因而，对中国古典天文学的改造也仅在太阳系的知识方面有积极进步的意义，而对恒星、对宇宙总体的看法方面还要等待近代天文学的进一步发展。

徐光启在《崇祯历书》编撰过程中逝世，他原先设想

的计划因而受到一定程度的影响。虽经他的继承人李天经的努力，这部书总算最后编成了，但反对派和保守势力也再次抬头，他们支持墨守旧法的魏文魁等人又成立了一个历局，因地处东城，故称东局，跟李天经领导的位于西城宣武门内的西局开展争论。明政府这时已是风烛残年，摇摇欲坠，无力顾及这类历法问题上的矛盾。《崇祯历书》在 1634 年底完成，10 年后明朝灭亡，它未能在实际中得到行用。

清兵入关，建立清朝，传教士汤若望乘机将《崇祯历书》稍加修改成 103 卷献给清政府，并称这是他多年制造仪器、亲自观测所建立起来的一套新方法。其时清朝刚刚入关立国，急需一个新历法颁行天下，于是立即同意采用，1644 年 11 月任命汤若望为钦天监监正，所献历书称《西洋新法历书》，据此编算的每年历本称为《时宪历》。其实这就是徐光启、李天经等人主持编成的《崇祯历书》。

北京古观象台及《灵台仪象志》

北京古观象台是明清二代的皇家天文台，担负着观测天象、编算历书的重任。在我国封建社会里，颁历和解释天象乃是皇权的象征，所以司天重地是一般人不能擅入的禁苑。

北京古天文台最早可上溯到700多年前的金代。金灭宋以后，建都北京，称为“中都”，城址在现广安门一带。为了进行天文观测，将北宋开封的天文仪器运到北京，这就是北京有天文台以来最早的一批仪器。

元灭金后，称北京为“大都”，并重建新城，在新城东南角建天文台。元大都的南城墙约相当于现在的东西长安街，故这个天文台大约就在现今建国门古观象台北侧不远的地方。元大都天文台上的仪器由著名天文学家郭守敬等人研制，而北宋的仪器放在金朝的天文台（当时称清台）上就被遗弃不用了。

我们现在见到的建国门古观象台，首建于明代正统年间。明代开国时定都于南京，司天台设在南京城内的鸡鸣寺山上，将元代的仪器及宋金旧仪都从北京运到了南京。燕王朱棣迁都北京后，永乐年间忙于营建故宫等宫廷建筑，无暇兴建天文台，只用临时的仪器进行观测，到正统年间才开始在元大都城东南角楼旧址兴建观象台，在台下建晷影堂等一

组建筑，使观象台初具现在所见的规模。又依元代郭守敬的仪器式样，从南京做成木模到北京仿铸仪器安装于台上。

清代对明代观象台上的仪器进行了彻底的改造，所有明代仪器都在康熙乾隆年间全部撤下，换成掺有西方天文学影响的8件天文仪器。8件仪器中有6件铸于1673年（康熙十二年），一件铸于1715年（康熙五十四年），一件铸于1744年（乾隆九年）。现在仍存放在北京建国门古观象台上。

最初的6件仪器是由比利时传教士南怀仁主持铸造的。此时，欧洲传教士同杨光先为代表的中国守旧势力经过了一场殊死的斗争，汤若望于康熙五年（1666）死于狱中，清钦天监由杨光先和吴明烜负责主持，但他们不懂历法，经常出现错误。康熙七年（1668）冬，康熙帝令内院大学士图海等20人至观象台测验1669年立春、雨水时刻，月亮和火木二行星位置。结果南怀仁预推位置与天象符合，而钦天监吴明烜等人所推失实。康熙帝遂命南怀仁负责“治理历法”，推算1670年历书，而杨光先被革职。南怀仁提出应制造新式天文仪器，于是从1669至1673年共铸成6件。为了说明新仪的结构、原理、安装和使用方法，南怀仁编撰了《灵台仪象志》一书，参加工作的还有钦天监官员、天文生等30人，于1674年正月二十九日奏报清政府。

《灵台仪象志》全书16卷。卷首有南怀仁写的序言一篇、奏表一篇，前4卷为文字，中10卷为表格，末2卷为配图。

序言和奏表主要讲述三个问题，即制仪、撰书的缘起，以地球为中心的七政运行结构，仪器制造、安装和使用之困难，寓意做成此事实在不易。

文字部分主要有四个内容，包括仪器、力学和运动学、光学及地学。仪器方面讲新制六仪按赤道、黄道、地平三种坐标体系构思，又加天体仪为天空的总体显示，纪限仪是三种坐标体系之外测任二星角距离的仪器。详述六仪的结构、用途、使用方法，刻度游标使读数精度提高的原理。阐述了用不同坐标体系的仪器测量同一天体坐标互为吻合的道理。同时评价我国古代天文仪器的制造是“从来创仪者多用心于缀饰，而罕加意于适用”，这一评价看来是值得商榷的。

力学和运动学方面主要有杠杆及材料断裂问题，物质的比重，物体之重心，滑轮省力，螺旋的作用，垂线球仪即单摆的知识，单摆的等时性，周期与振幅无关、周期平方同摆线长度成正比，作为单摆计时的例子，介绍自由落体的行程与时间平方成正比等。

光学方面有颜色的合成，日光通过三棱玻璃被分解成各色光，光线在不同介质分界面上的折射，给出入射角与折射角的对应表。

地学方面主要有测地半径法，测某地南北线的方法，罗经偏角，长距离水平测量要考虑地球曲率，测云高法，气、水、火、土四元素说，气温计和湿度计的原理及结构，地面上经纬度差与距离的换算表，不同纬圈上 1 度与赤道 1 度长的比例表，度、分、秒与里的换算表等。

表格部分主要是1800多个恒星的黄道和赤道经纬度表，黄赤二道坐标换算表，赤道地平二坐标换算表等。

插图部分共117幅，是制造新仪和讲述上面知识时所用的插图，为便于理解文意而作，是颇有价值的一部分。

清初新制六仪全部属于古典仪器，没有装配望远镜，凭肉眼观察，用途均属方位天文和实用天文方面。其设计思想按欧洲古典的第谷式，功能单一，要测的各种坐标单独铸仪，因而仪器结构简单，打破了中国古典仪器环圈叠套、各种坐标共于一仪的传统，既便于观测，也不遮掩天区。刻度装有游标，提高读数精度。这些都比传统的中国古典仪器先进。

但是，当时世界上天文仪器的制造已抛弃了古典体系，积极进行折射望远镜的改革和反射望远镜的研制。在南怀仁的时代，欧洲各国相继制成多架长焦距的折射镜，研究设计出三种光路的反射镜系统，发明了动丝测微器，可在望远镜视场里测微小角距，设计了新的计时器摆钟等。与南怀仁在北京铸造新仪的同时，欧洲各国纷纷建立综合性的近代天文台，如1669年法国聘请意大利天文学家卡西尼主持巴黎天文台的建设，1675年英国由弗兰斯梯德主持格林威治天文台的建设等。

看看欧洲同时代的天文仪器进展，比比南怀仁在北京制造的6件古典式仪器，其差距之大自不必说了。当然南怀仁对欧洲的新进展不一定完全知晓，但在他动身来华的1658年，欧洲天文学观测已普遍使用望远镜，在中国也曾制造过

望远镜，出版过介绍望远镜的书，就在《灵台仪象志》里也引用了汤若望《远镜说》中介绍的望远镜知识和观测结果，这些是南怀仁很了解的。

因此，这6件仪器的地位应该是：它们比中国传统的古典天文仪器有进步之处，但在当时世界上已属落后之列。

《灵台仪象志》的绝大部分篇幅用在星表和坐标换算表方面。关于星表，北京天文馆的伊世同在其著作《中西对照恒星图表》的编后记中已有确当的评述，它属于明末《崇祯历书》星表的系统，对清代中后期恒星命名的影响较少。书中黄道星表历元1672．0，系取自《崇祯历书》星表，仅在其黄经值上加37分作为岁差改正而得，黄纬值完全相同。其赤道星表历元1673．0，看来不是依《崇祯历书》星表加岁差改正得来的，可能是据黄道星表换算或查表所得。

根据对表格部分的初步考察，《灵台仪象志》中的星表和换表是一份颇有差错、又不太完整的资料（如赤黄换算表仅给出黄纬零度到±9度的值)，这可能跟当时成书仓促有关。书中曾讲到这些表是以曲线三角形之理编出来的，但又没有说明所用的公式，用的人只知其然而不知其所以然，且表中一些错误的数据未得纠正，看来均未经过实测校验。书中表格为一些特殊情况下的值，又不完整，不能满足实际工作的需要，因而不可能是供实际应用的表。

《灵台仪象志》介绍的力学和运动学知识已有严敦杰先生的详细论述，见《科学史集刊》第七册（1964)。这些内

容大部分译自伽利略的《力学》和《关于两门新科学（力学和弹性学）的对话和数学证明》两书。由于明末邓玉函、王征的《远西奇器图说》和清初南怀仁的工作，伽利略的一些力学、运动学成果在我国得到早期传播。

书中介绍的光学知识主要为折射现象，这一现象在汤若望的《远镜说》里已有介绍，南怀仁进一步给出了不同介质分界面上入射角与折射角的对应表，这是认识折射规律的重要步骤。1985 年王冰著文详细分析了折射定律的认识过程，评价了南怀仁的贡献，认为该书介绍了 17 世纪初以前西方对折射现象的认识和定量结果，使我国对折射现象的认识从定性阶段进入定量阶段，但是该书的出版距折射定律的发现几近半个世纪，却未正确介绍这一定律，暴露了传教士来华带来西方科学知识的局限性。

《灵台仪象志》还首次向中国介绍了温度计（气温计）和湿度计的制造原理和方法，其中气温计的知识是 17 世纪早期的成果，而湿度计的知识要比西方书籍中记述的同类作品为早，这是应予肯定的。

总的看来，《灵台仪象志》虽有一些不足之处，但是该书在当时的中国出现还是一件有价值的事，它在中国天文学史、天文仪器制造史上都有一定的地位。书中的科学插图，比北宋的《新仪象法要》要详细丰富。在其他知识方面，也不愧为最早向中国传送西方科学技术知识的书籍之一。

《灵台仪象志》星表是明末清初我国星表系统的代表之一。在中国历史上全天星表都是以入宿度和去极度来表示的

赤道坐标系统，而该星表改变了这一传统，又新增黄道和地平两个系统，且几种坐标系统可以互换。这也就向中国介绍了一种新的测量思想和方法，即通过不同坐标系统的仪器分别进行多次测量而互相校核，可以提高天文测量的精度。不足的是该书在球面三角公式已传入中国之后未能讲明利用这些公式进行坐标换算的方法，以卷帙浩繁的表格代替基本换算公式，即使读者不知其所以然的使用，也减低了表格的实用价值。

南怀仁设计制造6件大型天文仪器，编撰《灵台仪象志》一书，使清代观象台初具规模，赢得了康熙帝的欢心。在这一工作中，南怀仁巩固了他本人的地位，甚至也奠定了其后传教士在清钦天监中领导地位的基础。同时，这对中国天文界继续接受西方近代天文学知识，转变到新的天文学道路上来也有其积极意义。

《仪象考成》

清乾隆九年（1744）适逢甲子年，《灵台仪象志》的星表已使用70年之久，观测中发现黄赤交角有较大变化，一些恒星位置也与星表不合，于是钦天监奏请重新测算星表，正好该年乾隆帝亲自来到观象台，看见南怀仁所铸六仪和康熙五十四年纪理安造的一仪都是西洋式样和制度，而我国传统浑仪却不见。他下令按古代传统制度再铸一架仪器，因而铸仪和重新编星表的工作同时进行，至十七年（1752）新仪和星表都告成功，这就是《仪象考成》。该书共32卷，前2卷是讲新铸仪器的，乾隆帝亲自命名为玑衡抚辰仪，后30卷是星表。

《仪象考成》星表以1744年为历元，共有恒星3083颗，其中使用中国传统星官名称的有1319星，其余均标出“增星”。据研究，这份星表的底本是1725年英国修订再版的佛兰斯蒂德（1646～1719）星表，有的星是加了岁差改正，有的星是按自己的测定。佛氏是英国格林威治天文台第一任台长，近代精密星表的创始人之一，他在1676～1705年间观测了大量恒星，测定其位置，以此为基础编出了星表，1725年由其友人在伦敦出版。笔者有幸在北京图书馆珍藏的北堂书籍中看到了这一著作，精装三大本牛皮纸封面，名

《大英天文志》，其中有不少拉丁文手写注记，当为其时主持编定《仪象考成》星表的耶稣会士戴进贤（1680～1746）等人所写。

《仪象考成》星表是清代一份重要星表，在它之前虽有《灵台仪象志》星表，但因该书成书仓促，故星数只有1800多个，且黄道星表和赤道星表在星名和星数方面均不能吻合，甚至有一星重复二三次出现的情况。而《仪象考成》星表考定了星名，使传统星象同近代方位天文学的成果联系起来，使中西星名对照工作有了基础。后来，在道光年间又进行了一次恒星重测工作，编成了《仪象考成续编》32卷，以道光二十四年（1844）为历元，有星3240颗。这一次是中国学者独立工作，因为钦天监里任职的最后一个传教士高守谦（*Serra*）已在道光六年（1826）因病回国。不久以后，鸦片战争爆发，中国的社会性质发生变化，中西天文学的合流也走上了另一阶段，而中西恒星的合流工作此时已打下了基础。

《历象考成》

《历象考成》是清代编写的一部历法书籍。因为《西洋新法历书》是依据《崇祯历书》仓促删改而成，书中图与表不合，解释文字难懂，康熙五十三年（1714）清政府命令重新修定，改正这些毛病，于康熙六十一年（1722）完成，这就是《历象考成》。这本书其实没有什么实质性进步，仍沿袭《崇祯历书》用第谷体系和本轮均轮步算，虽然改用了一些天文常数，但积累误差日大。雍正八年六月初一（1730年7月5日）日食预报与天象不符，清政府命传教士戴进贤、徐懋德两人负责修定。他们依照法国天文学家卡西尼的计算方法和数据编算了一个日躔月离表，附于《历象考成》之后，既无使用说明，也无理论依据，整个钦天监中只有一个蒙古族天文学家明安图能使用这个表。对于这种情况大家都很不满意，于是又令戴、徐二人增修表解图说，同时有三位中国学者参加，他们是明安图、梅瑴成、何国宗。

增修工作在1742年完成，共成书10卷，就是《历象考成后编》。在这里，理论上的进步是抛弃了本轮均轮体系，改用100多年前开普勒发现的行星运动第一和第二定律，即行星绕日运动的轨道是椭圆，太阳在一个焦点上；行星和太

阳的联线在相等时间里扫过相等的面积，合称为椭圆面积定律。但是令人啼笑皆非的是在《后编》中位于椭圆焦点上的不是太阳而是地球，这又退回到地心说了，这种颠倒了的开普勒定律真可算天文学史上的一个怪胎，是顽固反对哥白尼日心学说的耶稣会士在中国这个特定地方特定时期内孵育出来的。

大家都知道，卡西尼是法国著名天文学家，他的家族曾连续四代人任巴黎天文台台长，第一代卡西尼是意大利人，应法王路易十四之请前往巴黎筹建天文台并任第一任台长，为近代天文学的发展做出了重大贡献。但他在理论上是严重保守的，他是最后一位不愿意接受哥白尼日心理论的著名天文学家，他也拒不接受牛顿的引力定律，反对开普勒的椭圆定律。正是这位在理论上保守的学者成了在中国的耶稣会士依赖的对象，由此也可以看到由耶稣会士来促使中国古典天文学向近代的转化是多么艰难。

贰

古代天文学家

刘歆

刘歆（？～23），江苏丰县人，出身于汉宗室贵族，年少时受到良好的教育。其父刘向亦为西汉著名学者，历史上对他们的研究颇多，尤其清代以来对刘歆和《三统历》的研究更为集中。刘歆一生从事政治活动和学术活动的时间大体相当，其中学术活动又分两个时期，公元前26年至公元前六、七年为第一时期，主要是研读各种书籍，如经传、诸子、诗赋、术数等，最后同其父共同完成我国图书目录学的第一部著作《七略》；第二个时期是从王莽执政后的元始元年（1）至始建国二年（10），主要从事天文学工作，编制《三统历谱》。公元23年因参与谋杀王莽未遂而自杀。

《三统历谱》不是一个为了行用而编制的历法，它是刘歆为了解释《春秋》一书中的天象和研究历史年代学问题依照当时行用的《太初历》而编制的。古今研究者一致认为，《三统历谱》即是汉武帝时邓平、落下闳等人创立的《太初历》。由于《汉书·律历志》采用了刘歆《三统历谱》的许多内容，使《太初历》的大体面貌得以保存，成为保留下来的第一部完整历法。但是1983年薄树人教授撰文指出了《三统历》同《太初历》的不同至少有下述5点（参见《自然科学史研究》2卷2期，第138页，1983年）：《太初历》用甘氏二十八宿体系，而《三统历》用石氏体

系；《三统历》创立岁星超辰法，即认为木星恒星周期为11．917年；《太初历》用太初元年为近距历元，《三统历》则有太极上元，距太初元年143127年；基本数据方面《三统历》之中指出一回归年365 $\frac{378}{1539}$天，一朔望月29 $\frac{374}{705}$天，而《太初历》分别是365 $\frac{385}{1539}$天和29 $\frac{43}{81}$天；冬至点位置，《太初历》认为在建星或牵牛前5度，《三统历》则认为在牵牛初，亦或牵牛前4度5分。

这些不同表明刘歆对天文学是有贡献的，尤其是他提出的木星周期，回归年和朔望月长度的值都比《太初历》进步。他提出的太极上元既有繁复神秘的一面，也有促进数学方法发展的一面。然而他是一个保守的思想家，他利用和发展了《易·系辞》里的数字神秘主义的思想来解释天文常数，对天文学的发展带来不利影响。

在过去的研究中常出现刘歆为了王莽篡汉之需而编《三统历》和刘歆篡改《春秋》中的日食记录之类看法，现在看来这二点证据不足。历史记载中没有看到王莽令刘歆编历的内容，而且王莽篡汉成功以后改正朔，易服色，所行之历与刘歆无关。至于刘歆篡改《春秋》中的日食记录一事，按《三统历》的精度和所用交会周期来分析，他是不可能做到的。如今用现代电子计算机反推《春秋》中的日食记录，37次中有31次确实可靠，有4次记录日无日食发生，有一次是曲阜不可见，一次是月日干支有误。我们应该认为，这绝不是刘歆按《三统历》能推算出来的，只能是当时的观测记录。

贾逵

贾逵（30～101），东汉时扶风平陵（今陕西省咸阳市西北）人，曾任左中郎将、侍中领骑都尉。他对后汉《四分历》的制定和历法的进步有重要贡献，在《续后汉书·律历志》中专门有贾逵论历一节。

贾逵考察了汉初行用秦之《颛顼历》和太初元年行用《太初历》以后200多年间的朔日天象，发现很多朔日误置在上月末一日，也有误置于二日的。到公元85年行用后汉《四分历》后，朔日误置的情况还时有发生。从天文学上来看，这一现象的产生有两个主要原因，一是朔望月长度太大，误差积累；另一是月行不均匀，时快时慢。对于第一点，《颛顼历》和后汉《四分历》的朔望月长度是29.53085，《太初历》是29.53086，而实际上只有29.53059。后来，刘洪的《乾象历》改成29.53054就较为接近。这一因素是长期积累的，30年约差2小时，所以当时人们还未认识到此点。贾逵明确地指出了第二个原因，即月行有迟疾。这一因素是周期性的，一个月内最大积累误差可达8.9个小时。他充分肯定了李梵、苏统从实测中发现的这一现象，并且指出了每月运动最快的地方要向前移动3度，这是我国学者第一次指出月亮近地点的运动。由于贾逵的建议，

在刘洪《乾象历》里首次考虑了月行迟疾来求朔望时刻和朔望时日月的经度，使我国历法进入了一个新时期（参见本编第四章第一节的历法分期）。

贾逵的另一个重要贡献是建议在浑仪中加黄道环。因为日月循黄道，用赤道浑仪不能很好地测量日月运动。这一建议开创了我国仪器发展的新道路，汉代灵台上首次出现了黄道浑仪，后来因为黄道环与周日运动不协调而被省去，但到唐代李淳风又再次发展起来。

张衡

张衡（78～139），东汉时南阳西鄂（今河南省南阳县石桥镇）人，靠自学成为闻名乡里的学者，后被推荐到京师洛阳任职，元初二年（115年）起两度任太史令，前后共14年，在天文学上取得卓越成就。

他是汉代天文界的代表人物，著有《灵宪》和《浑天仪图注》二书，全面阐述了他的天文学思想和浑天学说，可算是我国汉代天文学的总结。这二本著作中的天文学内容可概括为下列12项：

天地未分之前是一片混沌的气，轻者上升为天，重者凝结为地；

天成于外，地定于内，天地乘气而立，载水而浮；

天体于阳，故圆以动，地体于阴，故平以静；

天地之外为宇宙，宇之表无极，宙之端无穷；

天周为736000里，日月直径各1000里，地广（地直径）为232300里，天高、地深为地广之半116150里，$\pi=\frac{7360}{2323}=3.1683$；

月光生于日之所照，魄生于日之所蔽（照不到），月相由于日光的“照”和“蔽”所引起；

月食是因为地影（暗虚）遮蔽月光；

天运左行，七曜周旋右回；

行星运动的快慢是由于近天则迟，远天则速；

众星分五列共 35 名，即中央北斗 7 名和四方 28 宿；

星体衰竭则有陨星，流星至地则石；

天球旋转，南北极分别出没地上和地下 36 度，由此形成了天象和四季、昼夜的变化。

此外，张衡制造了水运浑象，开创后世天文钟制造的先河，又发明候风地动仪，是世界上第一架地震仪。然此乃候风仪和地动仪两仪的合称还是单一地震仪，目前尚无定论。至于《浑天仪图注》非张衡所作之说目前已有文章表示反对，认为是张衡所著无疑。

藏书阁

何承天

何承天（370～447），南北朝时代东海郯（今山东省郯城县》人。从小受舅父徐广的影响，爱好天文历数之学，曾在（刘）宋朝廷供职。宋太祖刘裕颇喜历数，元嘉二十年（443 年）何承天献出自己的作品《元嘉历》，于 445 年颁行，至梁天监九年（509 年）止。

徐广曾任晋秘书监，坚持天文观测 40 余年，何承天接受了他的观测资料，自己又有 40 年的观测，所以《元嘉历》的观测基础较好。他根据一年中影长的观测指出《景初历》冬至点的位置已差 3 度多，并给于纠正。他正确地指出，春秋分日的影长应该相等，过去历法中春秋分晷景不等是因为春秋分日安排不当。他进一步提出应考虑月亮运动不均匀来排历谱，使朔望与天象相符，但遭到钱乐之、皮延宗的反对未能实现，他还在计算五星位置时抛弃上元积年，取一个较近的起算点，开后世历法用近距历元到进一步废除上元积年的先例。他主张既然以正月为岁首，就应以正月中气雨水为历元，并在《元嘉历》中实行，后来唐代曹士蔿《符天历》也用了雨水为历元。

何承天的另一个贡献就是创立了用强率和弱率调正整数后余数部分的数学方法，此法在天文历法中广为应用，后人

称为调日法，设有一个分数$\frac{b}{a}$小于真值A，称为弱率，另一个分数$\frac{d}{c}$大于真值，称为强率，则真值在强弱二率之间，即

$$\frac{b}{a} < A < \frac{d}{c}$$

何承天提出，可以用多个强弱率来组成新的分数，使新分数更接近真值。按不等式的性质，

$$\text{如果}\frac{b}{a} < \frac{d}{c}\text{，则}\frac{b}{a} < \frac{b+d}{a+c} < \frac{d}{c}$$

$$\text{推而广之，}\frac{b}{a} < \frac{mb+nd}{ma+nc} < \frac{d}{c}$$

因此，只要适当选择强弱率和m、n，可以得到接近真值A的分数。何承天用$\frac{26}{49}$为朔望月整数天后余数的强率，$\frac{9}{17}$为弱率，以15强1弱得

$$\frac{15\times 26+1\times 9}{15\times 49+1\times 17}=\frac{399}{752}$$

以此数作为余数，《元嘉历》用$29\frac{399}{752}$为朔望月长度，化成小数是29．53059，同实际值非常接近。

此外，何承天在《论浑天象体》一文中首次提出了天顶的概念，他说：“从此极扶天而南55度强，则居天四维之中最高处也，即天顶也。其下则地中也。”天顶去极55度强是沿袭了浑天家认为北极出地36度的看法，其实这是有地方性的。在同一文中他还指出周天$365\frac{75}{304}$度，南北两

极相距 $116\frac{65}{304}$ 度强，即为天之直径。由此计算

$$\pi=\frac{365\frac{75}{304}}{116\frac{65}{304}}=\frac{111035}{35329}\doteq\frac{22}{7}$$

这是先于祖冲之提出 $\frac{22}{7}$ 的圆周率值。

总结他的工作有下述8项贡献；即纠正冬至点位置；指出春秋分晷影相等；提倡用定朔；五星取近距计算；用雨水为历元；强弱相调的数学方法；天顶的概念；$\frac{22}{7}$ 的圆周率值。

祖冲之

祖冲之（429～500），范阳遒郡（今河北省涞源县）人，由于北方战争频繁，先世举家迁居江南，任职于（刘）宋朝廷。祖冲之青年时代进入华林学省，从事科学研究，曾担任过南徐州（今江苏镇江市）刺史，娄县（今昆山县）县令，谒者仆射等官。到肖齐王朝，官至长水校尉。

他的贡献最重要的是求圆周率的值，他得到圆周率值介于3．1415926和3．1415927之间，此值的精度，当时在世界上首屈一指。同时他还提出$\frac{22}{7}$和$\frac{355}{113}$分别为约率和密率。前节已提到，$\frac{22}{7}$的值可能是受到何承天的影响。至于$\frac{355}{113}$，钱宝琮先生指出，这也可能是用何承天调日法的数学方法得到的，因为公元3世纪的刘徽曾提出$\frac{157}{50}$的近似分数为圆周率值，并已知此数稍小，而$\frac{22}{7}$又稍大，以这两值为强弱率而调整，只要在$\frac{157}{50}$上加9个$\frac{22}{7}$，即得

$$\frac{157+9\times22}{50+9\times7}=\frac{355}{113}$$

实际上何承天已提出了$\frac{365}{116}$的近似值，此即天周与天径的整数部分之比，此值比圆周率稍大，而$\frac{10}{3}$亦为圆周率的近似值且更大些，只要在$\frac{365}{116}$和$\frac{10}{3}$间调整一次，即得

$$\frac{365-10}{116-3}=\frac{355}{113}$$

这也可能是密率的一个来源。

祖冲之在天文学上的贡献是编制《大明历》，首次引进岁差算历，使天周同回归年长度分开，另一点是改革闰周，打破19年7闰的旧历法。他还研究了每日影长的变化规律，利用冬至日前后影长对称的关系提出了确定冬至日时刻的新方法，该方法不受阴云蔽日不能测量日影的影响，而且能求出冬至时刻，为后世长久沿用。

祖冲之博学多才，在音律、机械、文学等方面也有成就，惜多失传。尤其是他的《缀术》一书，唐代立为国子监的数学教科书，且修业时间最长，今亦失传，不知其奥秘，实为可惜。

刘焯

刘焯（542～608），信都昌亭（今河北省冀县）人，自幼爱好学习，曾在多处求学读书，对天文历数颇有心得。隋代建立以后任职于朝廷，参与律历工作，多次对行用的《开皇历》、《张胄玄历》、《大业历》提出批评，指出不知岁差，不用定朔，上元时五星不同度等缺点，均未被接受。公元604年献出自己所著《皇极历》，但由于得宠于皇帝诸人的反对，未能行用。

该历是我国古历中计算原理进入非均匀运动的第一个历法，为隋唐历法后来的发展开拓了方向，其创新之处有5点：

首创日躔表，按不同节气列出太阳实际行度比平均值快或慢的值。虽然所列日躔表未能正确反映太阳视运动速度的变化，但这是首次把太阳视运动不均匀引进历法；

首创计算合朔时日月去交点距离的方法——入交定日术，为交食推步确立了科学的步骤；

首创视差影响交食的计算方法，其法虽是经验性的，但也可找到其天文学含义；

首创考虑各种因素影响五星运动的计算方法，其中可发现有行星近日点位置，位相影响和地球不均匀运动的影响等

因素，当然还停留在观测资料的经验性总结阶段；

首创等间距二次差内插法的数学方法来计算任何时刻的日、月、五星位置，为后世历法采用。

此外，刘焯还提出了天文大地测量计划，主张用实测来校验“千里寸差”的传统看法，后来一行、南宫说等人的工作可算是刘焯计划的具体实施。公元604年他还提出了浑天说新论，主张以二至日影之差来论述浑天结构，探讨某地的去极度和晷漏变化情况，定“天地高远，星辰运周”，可惜的是由他提议的各地影长测量刚刚开始他就去世了，未能用他的方法做出具体运算，故此法未能流传下来。

综观刘焯的一生有重大贡献，可又是身处逆境常不得志，虽然不断抗争，但屡次败归，后人赞颂他的学术“咸称其妙”，是为一种安慰吧！

李淳风

李淳风（602～670），初唐岐州雍（今陕西省凤翔县）人，其父李播亦为天文学家，著有《天文大象赋》。淳风自幼博览群书，勤于笔记，收集了许多资料，唐太宗时，屡次上书驳正通行的历法，参与撰写晋、隋等史志，官至太史令。

李淳风在天文、气象、星占、历算、天文仪器和数学方面均有贡献，是初唐科学界的一位代表人物，他的成就表现在其丰富的著作中。

《乙巳占》作于贞观中，是他幼年读书时收集唐以前诸家星占著作中的内容编撰而成的，流传至今，是古代星占学的重要资料源泉，除星占学和历法的内容外，还有中国气象史的许多古代资料，甚为宝贵。

《历象志》和《麟德历》是他的历学著作。详细记述了他编撰的《乙巳元历》和《麟德历》，前者未得施行，后者从665年行用至726年。在这两部历法中首次对所有数据的余数用统一分母，使计算简化，为后来的百分制、万分制奠定了基础，而且《麟德历》确立了以定朔排历谱的地位，后世沿用不改。

《法象志》是他的天文仪器著作，他确立了浑仪的三层

环圈结构体系，即浑仪由四游、三辰、六合三重环圈组成，各有其职能。尤其是黄道环的设立是贾逵以后的第一人，而白道环的设立更是首创，白道环的移动办法开创了后代黄道游仪的设计思想。从李淳风开始，浑仪走上了向复杂化前进的发展阶段。

晋、隋二书的《天文志》和《律历志》是他对唐以前天文历法知识作出全面总结的著作，可算是唐以前的天文历法史。在这几部著作中，李淳风首次记述了许多重要的科学史料，为后代人了解我国古代天算成就提供了难得的甚至是唯一的资料。如祖冲之的圆周率值；古代浑仪的结构；宣夜说，姜岌的大气消光现象观测；彗尾背日而指的原因；张子信对太阳和五星视运动不均匀的发现；古人对“寸差千里”说的怀疑；刘焯《皇极历》的诸多创见等等。

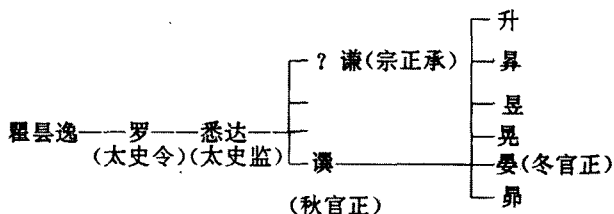
《古部算经》的编定和注释，是他对唐以前我国数学著作的总结性整理，由于他的工作，这十部算经成为唐国子监的数学教科书，使我国古代数学建立起以《九章算术》为中心的体系，为唐以后的数学发展打下基础，促进了宋元数学高度发展时期的到来。

综观他的一生，既有对前人工作的总结与继承，也有自己的创见和发明，他是一位承前启后的学者，平衡来看，其总结继承的一面大于创造发明的一面。当时的中国天文学和数学正处在大发展的前夜，李淳风对前人的全面总结促进了这一大发展的到来。

瞿昙家族

瞿昙家族，唐代世居长安的印度血统中国人，曾有四代人前后供职于唐太史监或司天监，有的并担任领导工作，历唐高宗、武则天、中宗、玄宗、肃宗等朝，共110多年，他们既对中国传统天文学很了解，又擅长印度天文历算。本来这是一次中印天文学交流的好机会，可惜的是中国学者对外来知识不屑一顾的传统使他们的工作未能产生足够的影响。

1977年在陕西长安县发现了瞿昙谍的墓志，搞清了他们的世系关系：

瞿昙逸高道不仕。瞿昙罗在唐神功二年（698）作《光宅历》，未颁行。悉达在景云三年（712）奉敕主持修复后魏铁浑仪，该年其第四子谍出生。开元六年奉敕译《九执历》，开元十六年奉敕撰成《开元占经》。瞿昙谦当为悉达之子，曾撰《大唐甲子元辰历》。谍于733年上书告发《大

衍历》抄袭《九执历》的成果，事败被调离太史监，直至758年才调回任秋官正；其6子中只有第五子晏任职冬官正，其他人没有资料。

瞿昙家族中以悉达成就最大，主要是他的《九执历》和《开元占经》对后世颇有影响。关于《开元占经》，本书第二章已专题介绍，它对中国天文学的发展和天文学史的研究有很大贡献。而《九执历》一文现在更成了研究印度古代天文学和中印文化交流的重要史料。日本薮内清教授曾著有《九执历——唐代印度天文学研究》一文，从中可以看到它的大概内容。

一行

一行（683～727），本名张遂，魏州昌乐（今河南省南乐县）人。其祖在唐开国时有功，至一行时家境已衰，常得邻居王媪周济。年少时喜读书，聪敏异常，尤精天文历象，名声渐大，为避免武则天之侄武三思拉拢，削发为僧，隐居嵩山、天台山，拜禅宗北派六世祖神秀的徒弟普寂为师，研究、翻译佛经。朝廷数次征召未应，至开元五年（717）唐玄宗派其族叔张洽强起赴长安宫中，开元八年受密宗灌顶，开元九年（721）奉诏改造新历，开始了他为天文历法做出重大贡献的时期。

他在天文学方面的贡献主要在天文仪器、大地测量、大衍历法三个方面。前人对他的研究颇多，但遗留问题也不少。尤其是大衍历议中的一些内容，至今不能做出满意的解释，《大衍历》与《九执历》间的瓜葛，一行同印度天文学之间的关系，也是有待研究的问题。就目前的研究来总结他的成就，可有下列6项：

与梁令瓒一起首创黄道游仪，第一次体现了古人理解的岁差现象。这是继李淳风白道环游动的启示以后做出的发展；

与南宫说一起主持天文大地测量，得出北极高度差1度

地面南北差132公里多，相当于测出了子午线1度之长（参见本编第五章），从实践上否定了“寸差千里”之说；

发现影长与太阳天顶距间有固定关系，并创立不同太阳天顶距时八尺之竿的影长计算方法，实际上是编出了世界上最早的正切函数表；

首次基本正确认识太阳视运动不均匀的规律，纠正了刘焯、李淳风以来的错误，但将冬至点误认为近日点，实际上当时尚差9度；

发明不等间距二次差内插法，使历法计算的数学方法向前发展一步；

首创九服食差和九服晷影计算方法。

当然，《大衍历》作为一代名历，结构严谨，条理分明，也为后世历家长久沿用。

沈括

沈括（1031～1095），北宋钱塘（今浙江杭州市）人。23岁即任沭阳县主薄，主持兴修水利。1063年中进士，因他熟悉天文学，任职于司天监，发现了监中的不少弊端，主张坚持观测。后任集贤院校理，读到许多国家藏书，扩大了他的研究范围。王安石变法，他积极参与。1075年出使辽国，使他有机会进行地理考察，1080年，主持与西夏抗争的军事。1088年后居京口梦溪园（今江苏镇江市），专心著述，记述他在学术领域内广泛的知识和见解，共600余条，这就是北宋时期重要的科学著作《梦溪笔谈》。书中有三分之一的内容属于自然科学，涉及数学、天文、气象、地质、地理、地图、物理、化学、冶金、水利、建筑、生物、农学、医学等等，不但内容丰富，而且论述精辟，如隙积术、太阳历、虹的成因、透光镜、立体地貌模型、化石、盐类晶体、各种药方、毕升活字印刷术等，不仅在中国科技史上，而且在世界科技史上都是有重要价值和重要地位的。

他在天文历法方面的贡献可归纳为7项：

首次提出纯阳历方案，即十二气历，便于指导农业生产；

开创简化浑仪的方向；

从理论上指出真太阳日长度变化；

正确解释不是每次朔望都发生交食的原因。形象地解释月相变化的原因；

指出月亮出没是潮汐形成的主要因素，发现潮汐的滞后现象；

发现北宋常州陨石的成分是铁；

指出极星与天极不动处尚有距离，且在变化，提出通过观测求极星距极远近的方法。

此外，关于他提出的计算太阳视运动的“妥法”，近来有人提出这是他发现了地球绕太阳的椭圆运动轨道，但也有人持不同意见，至于沈括是否用漏壶发现了真太阳日的不均匀，近来也有不同的意见。这两个问题有待进一步研究，笔者对二者基本都持否定态度。

郭守敬

郭守敬（1231～1316），河北邢台人，生活在金末元初。他的一生可分成四个阶段。先是求学，从小在祖父教育下学习数学和水利，后来随当时有名的学者刘秉忠学习天文学和地理学，喜欢思考和钻研，逐渐成为有学识的人。第二阶段从1262年开始，他受到推荐，并在多伦受到忽必烈的召见，从事水利工作，对治理华北、宁夏和甘肃一带河渠做出了贡献，后任都水少监。第三阶段从1276年开始，这是他在天文、历法、仪器诸方面做出重大贡献的时期，创制仪器10多件，编撰了《授时历》，后任太史令。第四阶段从1291年开始，又回到水利工作上，任都水监，在发展北京地区的水运，修通惠河，解决北京水源问题上都有独特的成就。

他在天文历法方面的贡献代表了我国古典天文学发展的最高成就，郭守敬之后，古典天文学再没有更多的发展，甚至在明代出现停滞局面，因而他在我国天文学史上的地位是最高的，受到了国内外学术界的普遍尊敬。至于他的具体成就，本编前面已有大量叙述，许多学者有专著论及，这里只做一个综述：

创制简仪，完成浑仪从繁到简的改革过程。又将赤道与地平坐标分开，提高观测效率；

创制仰仪，开创仰式日晷的新类型，流传国内外，这是

在天文仪器中利用小孔成像原理的创举，在他发明的景符中亦有该原理的巧妙应用；

创制高表，及景符、窥几等附属设备，包含着提高读数精度，减低相对误差，发展多种用途的设计思想；

以实测确定黄赤交角小于24度，打破了从汉代以来一直沿用24度的传统看法（其中虽有一行的轨漏中星表中用23．9度，但有时又用24度，并未指出来历）；

推算回归年长度365．2425日，跟现今通用的格里历相同；

历法推算中废除上元积年和日法，以至元十七年（1280年）冬至时刻为起算点，所用数据的尾数以百进位，废除分数表达式；

创等间距三次内插法的计算方法，用以计算日、月、五星运动和位置，在黄赤道差和黄赤道内外度的计算中创用类似三角术的弧矢割圆术；

主持历史上规模最大的一次天文大地测量；

重测全天恒星位置，编出星数最多的星表。

目前，对郭守敬天文成就的整理和研究仍是许多人关心的问题，这里涉及到郭守敬同阿拉伯天文学的关系。在《授时历》和他创制的诸多仪器中，固然还有不少问题至今未搞清楚，需要继续研究，但有迹象表明他曾吸收了一些阿拉伯天文学的东西，如简仪中改窥管为窥衡，刻度分36小分。此外，他在元上都时，扎马鲁丁等西域天文学家也在那里，在国外现已发现了一些用阿拉伯文（或波斯文）和中文共写的手抄本。有人认为是扎马鲁丁和郭守敬共同完成的。如果真是这样，郭守敬在阿拉伯天文学中的影响就更值得研究了。

贝琳

贝琳（？～1490），明代金陵（今江苏南京市）人，生年不详。在1456年以前曾在军中工作，通晓天象，被推荐入钦天监。成化年间（1456～1487）任南京钦天监监副，在1470～1477年间整理《七政推步》一书，使此得以流传。

《七政推步》是我国第一部系统介绍回历和阿拉伯天文学的著作。贝琳说，该书是洪武十八年（1385）远夷归化献土盘历法，历官元统去土盘译为汉算，而始行于中国。但《四库全书总目提要》认为，该书元时传入我国，明初得其书于元都，洪武十五年（1382）命翰林李翀、吴伯宗同回回大师玛沙伊赫等译，即是明史中的回回历法。文中有西域岁前积年至洪武甲子岁积若干年之语，甲子为洪武十七年，可见此时已译完，而贝琳说洪武十八年才得到此书是不正确的。

此书共7卷，采用黄道坐标系，周天360度，12宫，每宫30度，度以下全用60进位制。书中系统介绍用本轮均轮法计算日、月、五星位置及交食的方法，是耶稣会传教士来华之前系统讲述托勒玫天文方法的第一本书。它还介绍了回历历日的计算方法，其历元为隋开皇己未（622），是伊斯兰教始祖穆罕默德创历之年。首次从波斯文译出12个月名、每周7天的计日法和日名，卷6载有277星的中西对照星表，给出了它们的黄道坐标和星等。它在我国天文学史上是一本重要的著作，贝琳也因此占有重要的地位。

徐光启

徐光启（1562～1633），上海人，明末崇祯朝礼部尚书，文渊阁大学士。青年时代起就注意实用科学知识，如农、桑、水利等。1600年在南京结识意大利耶稣会传教士利玛窦，对欧洲科学知识很感兴趣，遂同利玛窦合译欧几里德《几何原本》前6卷，又译《测量法义》、《简平仪说》、《泰西水法》等书，首次向中国介绍西方天文、数学、测量、水利等科学知识。崇祯二年领导了中国历法史上最重要的一次改历运动，最后编成《崇祯历书》137卷，这是中国古典天文学体系向近代转变的开端。此外，还辑有《农政全书》60卷。

徐光启领导的改历运动最关键的一点是参用西法“取彼方之材质，入大统之型模”，即按中国历法的框架，以西方天文学原理编撰一本中西合璧的历书。这在中国历法史上是第一次。当时聘用了邓玉函、罗雅谷、汤若望等传教士参加工作，主要是翻译托勒密、哥白尼、第谷、开普勒等人的天文学著作，以及有关的数学知识、天文仪器、恒星表等，向中国介绍了许多欧洲的天文学知识。当然，由于当时的社会历史条件，又由于耶稣会的性质，这中间出现了许多曲折和问题，已如第九章所叙述。但是这一项改历运动在中国天

文学乃至整个中国科学发展史上的意义，远比其本身在学术上的价值为大。

从徐光启开始，中国在科学上闭关自守的局面有了改变，中国学者之中对外来学术一概不屑一顾的妄自尊大的思想受到了冲击。清初在考据之风盛行之际，也出现了一股中西学术会通的研究热潮，在一向重视儒学、修身养性的中国学术界出现了研究自然科学和技术的一股力量，连康熙皇帝也对天文、数学等科学问题发生兴趣，曾一度出现了编纂科学书籍《律历渊源》100 卷的举动。这一切，当然同世界政治经济形势的发展有内在联系，也同中国国内形势的变化有关。然而，作为一个倡导者，由徐光启而开始的中西学术合流对我国科学向近代的转变产生了决定性的影响。几百年来，每逢徐光启诞生和逝世整周年纪念的年份都举行不同规模的学术纪念活动是不无道理的。

梅文鼎

梅文鼎（1633～1721），清初安徽宣城人，他的诞生正值徐光启的去世，他的事业也正是徐光启开始的中西学术合流研究。青少年时代曾从专门老师学习天文和历法，其后便四出游学，专以著述为生。晚年曾得到康熙皇帝召见讨论历法算术问题。据《勿菴历算书目》载，共著有天文学著作62种，数学著作26种，现传世的有《勿菴历算全书》，共收29种76卷。1761年其孙梅瑴成重编《梅氏丛书辑要》，共收23种60卷，其中天文学10种20卷，有《历学骈枝》、《历学疑问》、《交食》、《七政》、《五星管见》、《恒星纪要》等，既有关于中国传统历法的，又有关于欧洲天文学知识的。他的著作、在清代学者中很有影响。

在中国传统天文学方面，他系统研究《授时历》和《大统历》、《明史·历志》。他首先提出以几何学方法来解释求日食初亏、食甚、复原时刻和月食初亏、食既、食甚、生光、复原时刻的道理，并提出《授时历》中黄赤道差和黄赤道内外度的算法已接近球面三角学。后来，李善兰以几何学方法解释《麟德历》的日躔、月离计算公式，很可能是受梅文鼎几何方法的影响。

在研究西方天文学知识方面，他讨论了天文学中的球面

三角学方法，研究用本轮均轮系统解释天体视运动，用偏心圆方法说明太阳视运动，并对小轮的实在性提出怀疑，他还系统整理了传入中国的许多西方星表，系统整理了《崇祯历书》中关于日、月、五星位置的计算方法，并作出分析和解释。此外，他还研究过回回历法，中西星名对照。钱大昕认为他是清代天算第一人，是有一定道理的。他的工作对中西天文学的比较研究很有价值，可以想象，对梅文鼎天文学著作的研究能帮助我们了解古希腊天文学和欧洲古典天文学方法，可惜的是这类工作目前还不多见。

明安图

明安图（约1692～约1765），蒙古族人，属清初蒙古正白旗（今内蒙锡林郭勒盟南），生卒年不详。按有关资料排比其卒年当在1763～1766年间，暂定1765年。青年时代被选拔为官学生送钦天监学习天文历算，1712年曾随康熙皇帝去承德答问天算问题，次年卒业，供职钦天监，历任五官正和钦天监监正，前后共四五十年。其间他参加了《历象考成》前后编和《仪象考成》的集体编撰，平时则负责编算各年时宪书，预告日月食。乾隆年间曾二次去新疆测绘地图，以测太阳午正高弧定地理纬度，以月食观测定东西偏度，即经度，同时配以三角测量，在测量基础上编绘《皇舆全图》新疆部分。数学方面著有《割圆密率捷法》，其中证明了传教士杜德美传入的3个无穷级数，又在证明过程中得到另外6个无穷级数展开式，此书由他的儿子最后续成，颇有影响。

他的科学成就表现在三方面，即天文历算、地图测绘和割圆密率。在这三方面，他的工作差不多经历了大致相同的过程，即先是以普通人员参加工作，进而在工作中逐渐表露其才华，弄懂传教士秘而不传的方法，最后有所发展。天文历算方面，《历象考成》编成后，其中的日躔月离表，除二

位传教士徐懋德、戴进贤以外，只有明安图一人能够使用，于是由他们三人主持编写后编，抛弃了本轮均轮体系，改用地心椭圆面积定律。可见，明安图是前后编之间的纽带。新疆测绘先是由传教士蒋友仁、高慎思等人主持，后来，明安图参与其事，最后成了领导人，而测量队里的传教士傅作霖和高慎思已在他领导之下。割圆密率的研究也是从传入的几个公式入手做的。总之，他作为一个蒙古族天文数学家，在清初传教士控制中国钦天监的时期中，以自己的学术水平和才能当上钦天监监正，主持一些重要工作，打破了传教士的垄断，这是很有意义的事。

叁

天文历法理论

三垣二十八宿

恒星的位置并不"恒定"，只不过因为距离地球非常遥远，它们的位置变化，几百年甚至更长的时间都很难察觉出来。于是，古人在探索太阳、月亮和五大行星的运动规律时，顺理成章地把"恒定"的星空背景作为坐标参照系。

人们要建立这个参照系，必须明确恒星分布的特征。通常是把恒星划分成若干个星群，叫做星官，类似现在所说的星座。每个星官的星数不同，少则一颗，多则几十颗，根据它们组成的形状，被赋予相似物的名称，比如，"杵"三星和"臼"四星，与实物极为相像。

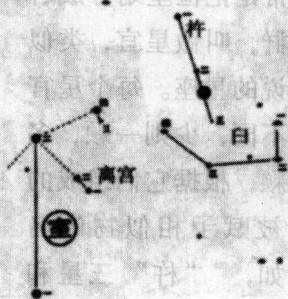
北斗与二十八宿苍龙星座

有了名称的星官易于记忆，但中国的星官的数目太多，陈卓总结的1464颗星就分属于283个星官，仍然不便于辨认，这就需要更高一层次的划分。《史记·天官书》曾把可见星空分成五大天区，叫五宫。中宫是指北极附近的星空，

除中宫以外的天空，以春分那一天黄昏时的观测为准，按东、西、南、北分为四宫，每宫又派生出七宿，共二十八宿，所有星官包括在中宫和二十八宿中，成为大单位下的小单位。虽然司马迁以后，星官数、星数都有很大变化，但基本框架已经成形。下面的表格是以陈卓星表统计的。

四象	宫名	宿　名	星官数	星数
苍龙	东宫	角亢氐房心尾箕	46	186
玄武	北宫	斗牛女虚危室壁	65	408
白虎	西宫	奎娄胃昴结觜参	54	297
朱鸟	南宫	井鬼柳星张翼轸	42	245

当太阳出现时，由于地球表面大气的散射作用，它的明亮遮掩住所有的恒星，使人无法判断其位置。古人注意到，月相实质上显示了月亮和太阳的位置关系。比如，满月时，太阳与月亮相对，太阳西面落下的同时，月亮从东面升起；上弦月时，太阳与月亮相差 90°，太阳落下时，月亮应当在头顶上方。观测月亮在恒星中的位置，可以倒推太阳的位置，所以，中国古代很重视研究月亮的运行规律。

杵和臼

二十八宿是怎样形成的？为什么偏是二十八而不是其他

的数目？古印度也有过用28份划分黄赤道天区的历史，称为28个月站。而“宿”字与“月站”具有相同的含义，二十八宿的本义应该是月亮运行中的二十八个宿营地。事实上，月亮的恒星周期为27.32日，假设月亮每天走一宿，不能说不符合推测。然而，中国二十八宿的距度值是不等的，大的达33°，小的只有1°，这种不等的规定显然有违于月站的含义。不过，在先秦文献中可以发现二十八宿等间距分法的痕迹。究竟是什么导致了二十八宿不等间距的情况，始终是一个谜。

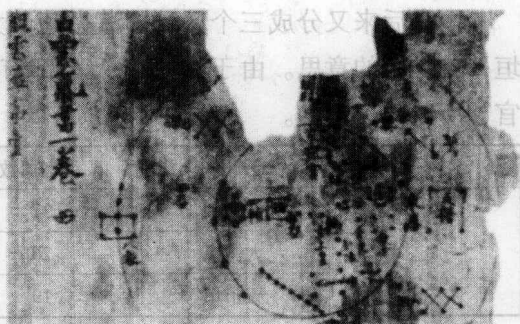
中宫后来又分成三个区，即紫微垣、太微垣和天市垣。垣，就是墙的意思。由于这三个天区都有像围墙一样的星官，所以这样命名。

	天区	星官司数	星数
中宫	紫微垣	37	163
	太微垣	20	78
	天市垣	19	87

将全天星空分配于三垣二十八宿，从《史记·天官书》就开始了，但三垣和二十八宿的划分不是一次完成的，直到唐代的天文启蒙读物《丹元子步天歌》，才第一次较全面地以三垣二十八宿概括全天可见星空。

星表与星图

专门记录恒星位置的书叫星表。中国已知最早的星表保存在《开元占经》里。《开元占经》是唐代著作，而它收录的这份星表是战国时的石申及其门徒所测，共有121颗星。

恒星位置的测量是中国古代天文学家的常规工作。作为衡量其他恒星的标准恒星，各个星官距星的入宿度和去极度，就成了每次测量的重点。作为天文观测坐标的二十八宿的方位，历代天文学家更重视对它进行精密测定。李淳风在唐代贞观年间（627～649）的观测，发现了二十八宿的距度值与前代不同，但出于某种顾虑，他仍然使用汉代太初历的数据。100多年后，一行遇到同样的问题，他没有怀疑自己的测量结果，果断地采用了新数据。宋皇祐年间（1049～1054）的观测，记录下345个星官距星的人宿度和去极度，

敦煌卷子紫微垣星图

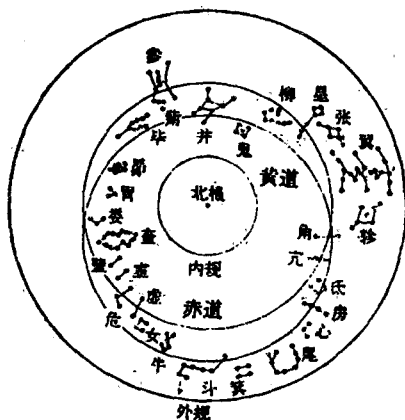
是清初西方星表引入以前现存星数最多的星表。宋代姚舜辅为了编纂《纪元历》，于崇宁年间（1102～1106）进行了一次观测，这次观测精度很高，测量误差只有0．15°，二十八宿距度被再次更新。元代郭守敬既精于仪器制造又精于天体测量，他的观测精度较之姚舜辅又提高了一步：二十八宿距度的平均测量误差小于0．1°。

陈卓之后，各代天文学家对1464颗星以外的其他星都不予重视，而郭守敬对这些无名星进行了系统的观测，并编入了星表。很遗憾，他的星表长期失传。直至近10年，才有人从北京图书馆善本书库明抄本《天文汇钞》中，查出书名为《三垣列舍人宿去极集》的书，未署作者名。经研究确认为郭守敬星表。与郭守敬同时代的赵友钦创造了恒星观测的新方法，即利用上中天的时间差来求恒星的赤经差，与现代的子午观测原理完全一致。

南北朝时，祖冲之的儿子祖暅发现北极星并不在北天极，而是离北天极有一度多的角距离。600年以后的沈括则测为三度多，沈括把这两数的差异，归咎于祖暅的观测不够准确。

其实，不管是二十八宿距度的变化，还是北极星的偏极，都是岁差造成的。虽然古代天文学家已发现这种现象，而且不厌其烦地修正、观测、再修正，但是没有人对此作出任何解释，没有人去探究发生这种变化的真正原因。

星图，是恒星位置的形象记录。中国古代星图大致上有两种，一种是示意性星图，常常绘制在古代建筑物或墓穴内

壁上，如五代吴越国文穆王钱元瓘墓室的顶部和汉代武梁祠的石碑上都刻画有星象。这种星图只起装饰作用，所以比较粗糙、简略，根本谈不上准确性。星象也往往是不全的，有的只是部分天区，甚至一两个星官。另一种星图则是为天文学家所用，为查找和计算恒星位置而绘制。所以这种星图准确性高，记录的星象比较完整。但从已知星图看，第二种星图远远少于第一种，而且唐代以前的几乎没有。

东汉星图

东汉蔡邕的《月令章句》记叙了汉代星图的大致结构，根据这段文字可复原当时的天文星图。该星图是圆形的，以北天极为中心，向外三层红色同心圆分别为内规、赤道和外规。内规相当于北纬55°的赤纬圈，表示内规以内的天区，总在地平线以上，全年都可看到。外规相当于南纬55°的赤纬圈，表示外规以外的天区，总在地平线以下，全年看不到。从内规外规的度数分析，此星图曾用于中原地区。

天球是三维体。但中国古代还没有掌握把它投影到二维平面上的技术。在图中，与北天极不等距的黄道应该是一个

椭圆形，却被画成正圆形。在绘有赤道以南星象的圆形星图中，这种变形更为明显。大约在隋代，出现了一种用直角坐标投影的长条星图，称为横图。在横图上，虽然赤道附近的星象接近真实，天极周围的星象又发生歪曲。解决这个问题的最好办法就是分别绘制：用横图表现赤道附近的星象，用圆图表现天极附近的星象，宋代苏颂所绘的一套星图正是采用这种手法的代表作。这套星图出自苏颂的《新仪象法要》，图中所标二十八宿距度值，与他在元丰年间（1078～1085）的观测记录相同，说明此星图是他根据实际观测绘制的。

清代的星图，把天区扩展到南极附近，其与陈卓星表相合的有 277 个星官 1319 颗星，另外新设 23 个星官 130 颗星。新增加的星中，绝大部分在中国看不到，是根据西方星表补充进来的。

变星

中国古代天文学家强调观测恒星的位置，却不重视恒星亮度的定量化，一些描述，如明大、光润、光芒小等，概念很模糊，理解上因人而异。只有变星，而且是亮度变幅在可见和不可见之间的变星，才会引起天文学家的注意而被记录下来。

《史记·天官书》里记载："有句圜十五星属杓，曰贱人之牢。其牢中星实则囚多，虚则开出。"后两句很重要，意思是如果"牢"里星比较满则囚犯就多，"牢"里星稀将赦免囚犯。有时星多，有时星少，说明有些恒星的亮度在变化。当它们变成六等以上的星时就为人们所见，反之，就好像消失了。司马迁所说的贱人之牢，就是后来的七公星官和贯索星官，对照现代星图，这部分天区相当于北冕座。北冕座确实有三颗变星，北冕座 α、北冕座 T 和北冕座 R，亮度变幅分别为 2^m—$9.^m5$、$5.^m8$—$12.^m5$ 和 $6.^m1$—12^m，都变化在可见与不可见之间，证实了古人的观察是正确的。

关于恒星亮度变化的占文还有很多，在去伪存真之后，将成为不可多得的研究资料。

新星和超新星

新星和超新星都属于变星，是爆发型的变星。新星爆发时，其亮度几天之内可增加几千至几万倍，随后慢慢变暗，一般经过几年或几十年，还原到爆发前的亮度。超新星的爆发规模更大，亮度增加几千万甚至几亿倍。

中国古代有关新星的可靠记录有50多例，超新星有10多例。最早的超新星记录见于《后汉书·天文志》的记载："中平二年（185）十月癸亥，客星出南门中，大如半筵，五色喜怒，稍小，至后年六月乃消。""南门中"大致对应现代星图中的半人马座β星，在β星的东南不远处，已证实存在一个射电源，有极大的可能就是那颗"客星"的遗留物。

在寻找古代超新星与现代光学天体的对应关系上，1054年超新星是最先被证认的。据《宋会要》记载："至和元年五月晨出东方，守天关，昼见如太白，芒角四出，色赤白，凡见二十三日。"至和元年五月，相当于公元1054年六七月间，天关星即金牛座ξ。这是当时司天监的观测记录。1731年，英国天文爱好者比维斯用小型望远镜在这个位置上发现一个椭圆形雾斑。1844年英国人W. P. 罗斯通过大型望远镜观察到它的纤维状结构，并根据其外观，命名为蟹状星

云。1921 年美国人邓肯研究两组相隔 12 年的照片，惊奇地发现蟹状星云在膨胀。1942 年荷兰天文学家奥尔特从星云的膨胀速度，反推出这些纤维状物质大约是 900 年前从一个密集点飞散出来的。经过很多天文学家的计算、分析，证实了蟹状星云就是 1054 年超新星爆发后的遗迹。1969 年在蟹状星云中又发现一颗脉冲星。早在 1934 年，德国天文学家巴德就曾在理论上预言过，超新星爆发后，其中心部分将坍缩，变成体积小、密度极高、快速旋转的中子星。这颗脉冲星所反映出来的物理特征与预言完全合拍。说明确实存在过一次超新星爆发，因而从另一个方面证实了蟹状星云形成的原因。中子星的发现，成为 20 世纪 60 年代天文学的四大发现之一。

天关客星位置图

中国古代关于奇异天象的大量记录，与世界上任何国家相比，都是最可靠的，最完整的，从数据角度来说，可用率最高。古代记录为现代科学研究服务，是当年占星家们绝对想不到的事情。将来，当科学进一步发展时，这些记录也许会显示出更高的价值。

天文分野占

在古人心目中，天是人格化的，天与人是要发生天人感应的。天下之大，东西南北，国域州郡很多，所谓吉凶，就不能一概而论。某一种异常天象的出现，不一定对应全世界，而只能对应于某国、某州或某郡。这个吉凶究竟发生于何地，都有一个对应关系，这种天区与地域对应的法则，便是分野理论。

有关分野的观念，起源很早。《周礼·春官·宗伯》就有“以星土辨九州之地”，以观“天下之妖祥”的记载。即已开始将天上不同的星宿，与地上不同的州、国一一对应起来。天上的分区，大致是以二十八宿配十二星次，地上则配以国家或地区。现以《汉书·地理志》为据加以对照：

《汉书·地理志》载天文地理分野表

地区	韩地	宋地	燕地	吴地	粤地	齐地	卫地	鲁地	赵地	魏地	秦地	周地	楚地
天区	角亢氐	房心	尾箕	斗	牛女	虚危	室壁	奎娄胃	昂毕	觜参	井鬼	柳星张	翼轸

《淮南子·天文训》所载与此类似。以上将天和地的

对应关系分为13组，但与其他的分野资料进行对比可以得知，天地对应关系的分组，并没有一个固定的模式。《史记·天官书》又有如下的恒星分野：

秦之疆也，候在太白，占于狼弧；吴楚之疆，候在荧惑，占于鸟衡；燕齐之疆，候在辰星，占于虚危；宋郑之疆，候在岁星，占于房心；晋之疆，亦候在辰星，占于参阀。

这个分野只列出八个国家，除地域与恒星对应外，还记载了五星与国家的对应关系。

分野的思想，大约产生于春秋战国时代，所以地域有时称晋国，有时称赵魏，但仅限于中原地区。不过，秦汉统一以后，分野思想还在继续发展，这时的地理分区就不再是国家，而是12州。从13国经8国到12州，也许反映出分野思想的演变过程，由天上的二十八宿对应于地上的12州，正与一年四季中的12个月相对应，似乎更可以看到分野思想的成熟。

在天与地的对应关系建立以后，占星就有了一个基础。这样，当天上某个区域或星宿出现异常天象时，它所反映出的火灾、水灾、兵灾、瘟疫等，就有一个相应的地域可以预言。例如，《续汉书·天文志》就记载了汉明帝永平九年（66）正月彗星出现及其应验的事例，这次彗星出现在牵牛宿，长八尺，彗尾通过建星，一直到达箕宿、心宿和房宿的南部，经过50余天才隐灭不见。以后，就发生广陵王荆和沈谅、楚王英和颜忠两件谋反的事，事情败露以后，都以自

杀了结。这次彗星出现为什么会被认为应验在这两个王身上呢？这是由于牵牛宿的分野在吴、越，房、心的分野为宋，而广陵属吴地，彭城属宋地，所以应验在这两件事上面。

又例如，《三国志》记载在东汉桓帝时于宋楚分野的地方有黄星出现，当时有一个姓殷的占星家曾预言，50 年以后，当有圣人出现在丰、沛这个地区，其锋芒将锐不可当。而 50 年以后，就有曹操破袁绍的大事，群雄没有可以与之匹敌的。曹操家在亳县，属宋地，故被认为应验了黄星出现于宋楚分野的瑞祥。

日占和月占

日占和月占是中国古代比较典型的星占，它们所涉及的范围很广，例如，太阳上出现黑子、日珥、日晕、太阳无光，二日重见等。另外，古人对日食的发生也很重视，天文学家都在受命进行严密监视，日食出现的方位、在星空中的位置、食分的大小和日全食发生后周围的状况，都是人们所关注的大事。

《晋书·天文志》在记载日食与人间社会的关系时说："日为太阳之精，主生养恩德，人君之象也。""日食，阴侵阳，臣掩君之象，有亡国。"李淳风的《乙巳占》则说："天下太平，虽交而不能食。食即有凶，臣下纵权篡逆，兵革水旱之应兆。"

既然发生了日食，这便是凶险不祥的征兆，天子和大臣不能眼看着人们受灾殃，国家破败，故想出各种补救的措施，以便回转天心。天子要思过修德，大臣们要进行禳救活

动。《乙巳占》记载的禳救的办法是这样的：当发生日食的时候，天子穿着素色的衣服，避居在偏殿里面，内外严格戒严。皇家的天文官员则在天文台上密切地监视太阳的变化。当看到了日食时，众人便敲鼓驱逐阴气。听到鼓声的大臣们，都裹着赤色的头巾，身佩宝剑，用以帮助阳气，使太阳恢复光明。有些较开明的皇帝还颁罪己诏，以表示思过修德。

月占的情况与日占大同小异，由于月食经常可以看到，故后人就较少加以重视了。不过，月食发生时，占星家比较看重月食发生在恒星间的方位，关注其分野所发生的变化。除掉月食占以外，还有五星等占卜。

行星占

行星占又称为五星占，因为除掉日月以外，在太阳系内肉眼所见能作有规律的周期运动的，就只有五大行星。由于中国古代五行思想十分流行，五星也就自然地与五行观念相附会，连五颗星的名字也与五行的名称一致。五星的星占在所有的星占中占有极重要的位置，自春秋战国至明代，五星一直都是占星家重要的占卜对象。

《开元占经》引《荆州占》说：

五星者，五行之精也。五帝之子，天之使者。行于列舍，以司无道之国。王者施恩布德，正直清虚，则五星顺度，出入应时，天下安宁，祸乱不生。人君无德，信奸佞，退忠良，远君子，近小人，则五星逆行、变色、出入不时……众妖所出，天下大乱，主死国灭，不可救也。余殃不

尽；为饥、旱、疾疫。

行星占包括的范围极广，有行星的位置推算和预报，有行星的凌犯观测，有行星的颜色、大小、光芒、顺逆等的观测。

古人以为，五大行星各有各的特性，它们在天空的出现，各预示着一种社会治乱的情况。例如：木星为兴旺的星，故木星运行至某国所对应的方位该国就会得到天助，外人不能去征伐它，如果征伐它，必遭失败之祸；火星为贼星，它的出现，象征着动乱、贼盗、病丧、饥饿等，故火星运行到某国所对应的方位，该国人民就要遭灾殃；金星是兵马的象征，它所居之国象征着兵灾、人民流散和改朝换代；水星是杀伐之星，它所居之国必有杀伐战斗发生；土星是吉祥之星，土星所居之国必有所收获。故汉宣帝时，看到土星出东方，认为是吉兆，对中国有利，所以命令赵充国赶快去征讨西羌。刘歆想反对王莽，发动政变时，还要等待选一个金星出东方的日子，终于错过了时机。

观看行星所处的方位，是占星家的重要工作。公元前637年晋惠公去世，秦国护送晋公子重耳返国夺取王位时，重耳问晋大夫董因是否会成功，董因说："岁在大梁，将集天行，元年始受，实沈之星也。实沈之虚，晋人是居，所以兴也。今君当之，无不济矣。"是说重耳继承王位时，正逢岁星处于实沈的星次。实沈正是晋人之星，是兴旺的象征，故重耳此时继承王位，没有不成功的道理。实沈对应于毕、觜、参等宿，正是晋之分野，故有此说。

占星家对五星凌犯也很重视，现仅举火星侵犯斗宿一例，以说明古人具体的占法。古时的占星家认为，火星犯南斗，就有“谋反者”，有“破军杀将”事。汉景帝元年（前156）七月火星留守在南斗，三年后就发生了吴楚七国之乱（《汉书·天文志》）；东汉顺帝永和二年（137）八月火星又犯南斗，第二年的五月就发生了吴郡人羊珍等反叛的事，同时，九江又发生了蔡伯流等数百人造反的事；灵帝熹平元年（172）十月火星又进入南斗星中，在当年十一月就发生了会稽许昭造反自称越王的事（《续汉书·天文志》）。上述事例，都被认为是占星的应验。

恒星占

恒星也有独立的占法，大致可分为二十八宿占和中官占、外官占。占星家不停地对各种星座进行细致的观察，观看其有无变动。一有动向，便预示着人间社会的一种变化。举例说，占星家认为，尾星是主水的，又是主君臣的。当尾星明亮时，皇帝就有喜事，五谷丰收；不明时，皇帝就有忧虑，五谷歉收。如果尾星摇动，就会出现君臣不和的现象。又如，天狼星的颜色发生变化，就说明天下的盗贼多。南方的老人星出现了，就是天下太平的象征，看不到老人星，就有可能出现兵乱。

彗星占

在中国古代的星占理论中，彗星的出现，差不多均被看作灾难的象征。《乙巳占》关于彗星的论述说：

长星（即彗星）……皆逆乱凶孛之气。状虽异，为殃

一也。为兵、丧，除旧布新之象……凡彗孛见，亦为大臣谋反，以家坐罪，破军流血，死人如麻，哭泣之声遍天下。臣杀君，子杀父，妻害夫，小凌长，众暴寡，百姓不安，干戈并兴，四夷来侵。

中国古代将彗星看作灾星的由来已久，早在春秋战国时即有记载，例如，《左传》就记载了文公十四年（公元前613年）出现的彗星，当时有星孛于北斗，周朝的内史叔服预言说，不出七年，宋、齐、晋国的国君都将死于战乱之中。

除掉分野占、日占、月占、行星占、恒星占、彗星占以外，还有客星占、流星占等，限于篇幅，不再作具体介绍。

二十四节气

虽然阴阳历的平均长度接近回归年，但因为三年多才加一个闰月，补偿方式显得有些唐突，气候变化在阴阳历上不能完全体现出来。比如，表示夏天开始的立夏，今年在三月，明年可能就在四月，与月序的关系不固定。在农业国家，人们格外关心播种和收割的时间，不能反映季节的历法很难普及推广，因此，二十四节气便产生了。

二十四节气的具体名称是：立春、雨水、惊蛰、春分、清明、谷雨、立夏、小满、芒种、夏至、小暑、大暑、立秋、处暑、白露、秋分、寒露、霜降、立冬、小雪、大雪、冬至、小寒、大寒。其中位于偶数的，如雨水、春分、谷雨等又叫中气。

节气，本质上是将地球绕太阳运动的轨道平均分成15°一份，24份共360°，每个节气代表轨道上的一个固定位置。从时间上来说，由于地球公转的速度是不均匀的，这就导致了有的节气14天，有的近16天，平均15天多。大家知道，季节是地球公转的反映，所以节气可以比较准确地表征气候冷暖现象。

二十四节气按其名称的含义又可分为四种：（1）表征四季的有立春、春分、立夏、夏至、立秋、秋分、立冬、冬

至八个节气。（2）表征冷暖程度的有小暑、大暑、处暑、小寒、大寒五个节气。（3）表征降水量多寡的有雨水、谷雨、白露、寒露、霜降、小雪、大雪七个节气。（4）与农事相关的惊蛰、清明、小满、芒种四个节气。

二十四节气属于阳历系统，它与朔望月配合使用，是中国阴阳历的一大特点。

十二生肖

以十二支来记载年、月、日、时，确实比较方便，但是不便于记忆，对于不识字的人来说尤感困难，于是便产生了以序数来记载年、月、日、时的方法。以序数记载年、月、日自然方便，但都存在一个起点问题。在上古时，各个民族、各个地区的历法很不统一，不统一就会产生误会，相互之间就无法进行交往。人们又重新意识到利用十二支纪年、纪月、纪日的优越性。为了克服干支记忆的不便，人们便创立了以鼠、牛、虎、兔、龙、蛇、马、羊、猴、鸡、狗、猪12种动物来代替十二地支，并且与十二地支有固定的对应关系，这就不易错乱。由于这12种常见的动物具有实感，容易为广大群众记忆和接受，于是便很快地在社会上流传开来，遍布亚洲各个民族中间，至今仍然盛行。

关于十二生肖的起源，至今还是一个谜。外国关于十二生肖的文献记载都比较晚，所以它应该起源于中国。东汉王充《论衡》中，就曾系统地记载着十二生肖与十二地支的对应关系，故想必在西汉以前，十二生肖纪年、纪月、纪日便已流行。近年来在云梦秦简中出土有十二生肖的记载，除少数几个不同以外，大部分都与现今相同，也许从这里会找到十二生肖的起源和演变过程。

十二生肖的排列顺序是如何定型的，它与十二地支的对应关系又是如何确定的，这些在古代文献中都没有明确的记载。民间流传的所谓牛鼠赛跑的故事，可信程度不大。这些关系可能是逐步发展起来的，经典文献中的名句，例如，《诗·小雅》“龙尾伏辰”、《左传·僖公五年》“吉日庚午，既差我马”等，都可能作为十二生肖与十二地支对应关系的起因，这就关系到二者谁产生在先的问题了；形体特性类似或常在一起的动物及家畜等，例如，龙和蛇，马和羊，鸡、狗、猪等，就自然地排列在一起；五行相胜、相克的关系，也应是考虑的一个因素。另外，如将虎与寅相配，大约与西羌氐羌民族的虎崇拜有关，他们以虎月为正月，又以虎为贵、为大，故以虎月为正月。总之，十二生肖顺序的形成，是包含着多种因素在内的。

十六时制

前人早就注意到，在西汉以前的古籍中，记时方法与后世几乎完全不同，不是用子时、丑时等的记法，而是用食时，铺时、人定等陌生的时称。这类对时间的称法，在《史记》、《汉书》、《黄帝内经》等书中到处可见；近年出土的西汉以前的有文字记载的简牍等实物，也都证实了当时实用的就是这套纪时制度。为了说明这套时制与后代的对应关系，曾有人对此作出注解，例如对《资治通鉴》和《黄帝内经》的时称名均有人作过注，认为这些时称是十二时制的异名。但是《淮南子·天文训》连续记载有15个时称，《黄帝内经》也有14个不同的时称，故以上古人的理解有误。近年来人们对西汉时制作出深入研究，才揭开了十六时制的秘密。这十六时制的名称及与二十四小时的对应关系如下表：

夜半	鸡鸣	晨时	平旦	日出	蚤食	食时	东中
0	1：30	3：00	4：30	6：00	7：30	9：00	10：30
日中	西中	铺时	下铺	日入	黄昏	夜食	人定
12：00	13：30	15：30	16：30	18：00	19：30	21：00	22：30

由于冬夏白昼和黑夜的长短时间不等，故这十六时制中的每一个时段冬夏所占时间的长度是否相等，还有待于进一步研究。外国古代也有十六时段的分法，不同国度之间是否存在过这种时制交流，还有待于进一步研究。

十二辰纪时法

春秋战国时，人们开始将历法上的12月名称应用到天文方位上。基本设想是太阳每年12个月在黄道上运行一周，若将黄道分为对应的12个天区，则一个天区对应一个月。人们将太阳冬至所在的天区称为子，12月太阳所在的天区称为丑，下面依次类推。地球公转引起了太阳在黄道上自西向东的周年运动，地球的周日旋转又引起了太阳沿赤道自东向西的昼夜运转。由此人们便设想把天赤道所处的方位也划分为12个天区，北方为子位，南方为午位，东方为卯位，西方为酉位，则一昼夜太阳运行12个方位回到原处，这样便产生了太阳位于一个辰位为一个时辰的概念，一昼夜为12个时辰，人们便可以用太阳在天空所处的方位来确定时间。

这个纪时方法大约产生于汉武帝太初改历以后，是由当时参加改历的天文学家首先提出的。这个方法比较科学简明，于是便很快地为人们所接受，老的纪时法也就逐渐被废止。这种纪时方法最早出现在《汉书·翼奉传》，载有元帝初元元年（前48）“日加申”，意思是太阳位于申的时刻。自此以后，这种纪时方法就不断出现，记时的名称由“日加午”转变为“时加午”，以后又进一步简化为“午时”。

这种纪时法与二十四小时制对应如下表：

子	丑	寅	卯	辰	巳
23—1	1—3	3—5	5—7	7—9	9—11
午	未	申	酉	戌	亥
11—13	13—15	15—17	17—19	19—21	21—23

进入魏晋南北朝以后，科学技术得到了进一步的发展，人们对纪时制度也就提出了更高的要求，即使在民用上，十二时辰作为一个独立的纪时制度，其间隔也太大了一些。故人们开始想出一些改进的办法，将其分得更细一些。

首先的想法是，将每个时辰再一分为二，在十二时辰名中间，再插入甲、乙、丙、丁、庚、辛、壬、癸八个天干和艮、巽、坤、乾四个卦名，合计24个小时名。这种分法一直沿用到隋朝。这种纪时名称记忆起来不大方便，给人的感觉配合得也不是那么和谐，唐代的天文学家便将十二时辰分列为初正二个部分，例如，子初开始于23点，子正开始于0点，午初开始于11点，午正开始于12点。作出这个改进以后，早期的24小时名称也就被废止不用。将十二时辰分为初正两部分，这是中国古代的二十四时制。一直沿用到清代。

漏刻纪时法

无论是十六时制或十二时制，都是依据太阳的方位或出没状况来判断的，但这对平民百姓来说，不容易判断得准确，使用起来也太粗疏，故人们又发明了漏刻，用来记载时间。《周礼》载有契壶氏，《汉书》载有率更令，均是执掌漏刻的官员，可见迟至周代，官方就用漏刻来纪时了。

据记载，先秦漏刻主要是用于军事目的的。至汉太初改历以后，才开始应用在天文学上。在天文学上应用之后，它的精密程度和使用的方法，都有了重要改进。先秦时，是否已开始用漏刻连续不断地测时、报时，还值得进一步研究。作为一个连续的测时、报时系统，并投入正常使用，大约始于西汉太初以后。

开始时的使用方法大致是这样的：将一昼夜分为100刻，夏至白天60刻，夜晚40刻；冬至白天40刻，夜晚60刻；春分、秋分昼夜平分。但天文学家把太阳出入前后二刻半的晨昏朦影时间也算在白天，这样，夏至白天65刻，夜间35刻；冬至白天45刻，夜晚55刻；春秋分白天55刻，夜晚45刻。将白天和黑夜分开使用，当白天开始时，将漏壶装满了水，在水面上漂浮着一根带有刻度的箭。随着壶水的下漏，浮箭便逐渐下沉，从壶口读出各个时刻箭上的刻数

以报时。通常将一根箭的刻数，在中间作出标记，将上下一分为二，故报时时，称昼漏上水×刻，或昼漏下水×刻；夜漏上水×刻，夜漏未尽×刻。当昼夜交替时，不管壶水是否漏尽，就该重新加满水，重新起漏。

由于不同季节白昼或黑夜的刻数不等，使用同一个刻度的箭就会不方便，也不准确。所以古人发明了在不同的季节使用不同箭的方法。西汉时一年使用40根箭，每九天换一根箭。在使用的过程中，发现按天数换箭的方法并不科学，因为冬至、夏至附近昼夜的变化不显著，而春分、秋分附近变化很显著，所以在东汉初年时，就改用太阳南北方向每移动二度四分更换一箭，仍使用40根箭。东汉和帝时又作出小的改进，规定太阳每南北移动二度更换一箭，全年使用48箭。

漏刻单独纪时曾经使用了一个相当长的时间，这种办法在整个南北朝时都一直在使用。但是，将一昼夜分为12时较粗，将一昼夜分为100刻又过短了一些，如果将二者结合起来，组成一个系统，那就很合适了。古人早就想到了这个问题，为了使二者能简明地配合起来，西汉哀帝时夏贺良就曾建议废除百刻制，改用120刻制，王莽称帝时也曾有人建议改用120刻制，梁武帝时曾先用96刻制，后又改为108刻制，但终因百刻制使用时间已经很久，积习难改，使二者结合的愿望一直未能实现。

在使十二时制与百刻制的配合上，到隋唐时，人们就不再考虑变动百刻制来实现，而是承认既成事实，将二者配合

起来。开始时有人提出子、午、卯、酉各九刻，其余八刻。又有人提出子、午各十刻，其余八刻。但这两种意见改变了十二时辰等分的规定，不能为人们所接受。最终仍只能采用等分的办法。

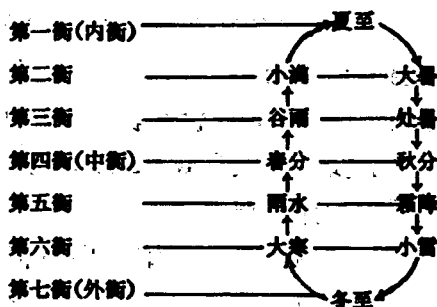
具体的做法是，将百刻分为十二等分，每一个时辰为八大刻加 1/6 刻，这 1/6 又称为小刻，古人就是用这种办法使二者统一起来。在将一个时辰分为初正两部分之后，人们又将一个小时等分为 4⅙ 刻，这 1/6 刻也称为小刻。作出这个规定以后，人们在计算时间时，就统一用某时某刻来表示，在漏箭和浑仪的刻度上，也将十二时和百刻配合使用，每个小时的末尾均附有一个小刻。

盖天说

盖天说是中国最古老的宇宙学说。成书于汉代的《周髀算经》，记载了盖天说发展过程中的两个阶段。

第一衡（内衡） 夏至
第二衡 小满 大暑
第三衡 谷雨 处暑
第四衡（中衡） 春分 秋分
第五衡 雨水 霜降
第六衡 大寒 小雪
第七衡（外衡） 冬至

七衡六间与二十四节气

旧盖天说认为：天是圆的，像一顶华盖。地是方的，像一块棋盘。天是倾斜的，它的中心位置在人的北面。天以这个中心为轴向左旋转，太阳和月亮像锅盖上的蚂蚁，虽然它们在不停地向右行，但同时仍不得不随天向左行。空间充满了阴气和阳气，而阴气混浊，人的目光无法穿透，所以太阳早晨进入阳气中，晚上退入阴气中。而且夏天的阳气比冬天的多，所以夏天的白昼比冬天的长。

随着古人活动范围的不断扩大，地“方”的说法难以让人相信，并且天圆和地方，两者也不可能弥合。这些当然是旧盖天说最站不住脚的地方。

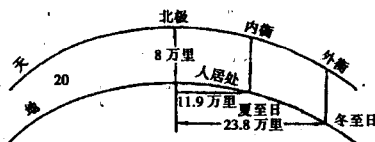
新的盖天说认为：天和地都是圆的，中间高而四周低，

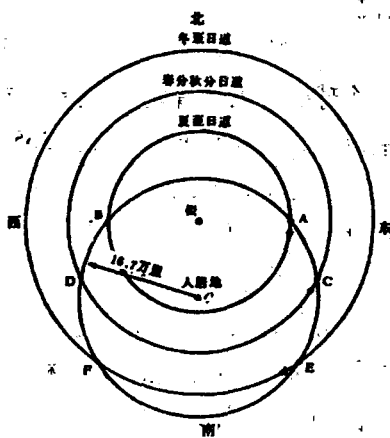
地像一个反扣的盘子，天像一顶斗笠。笠顶就代表北极，天以北极为中心旋转。太阳在随天旋转的同时，还要变换轨道，一年中向南变换六次，再向北变换六次，所以太阳共有七条轨道。太阳在夏至日时，沿内衡圈运动。在冬至日时，沿外衡圈运动。与二十四节气的对应关系上，凡中气都在第一衡到第七衡的衡上运动，其他节气时太阳在衡与衡之间运动。

盖天说根据圭表测影结果，利用勾股定理推算出：天与地处处相距八万里。夏至日时，没有表影处离地理北极11.9万里。冬至日时，没有表影处离地理北极有23.8万里。中国则离地理北极有10.3万里。这张图是盖天结构的剖示图，便于读者理解。

盖天说还认为，太阳光的照射范围是有限的，其范围半径只有16.7万里。同时，人所能看见的距离也是16.7万里，这意味着在此范围以外的天体不会引起视觉反应。以此推理，太阳在白天应该离我们不到16.7万里，而夜晚则超出这个距离。

盖天说的天地关系

盖天说利用这个模式和数据确实可以解释一些天文现象。人居住的地方O（即中国）在内衡圈以内，以O为圆心16.7万里为半径画一个圆，交内衡、中衡、外衡于A、B、C、D、E、F点。夏至日，太阳沿内衡走一圈，当太阳走到A点时，就能为

人所见，相当于日出，A 对于 0 就是日出方向，太阳从 A 运行到 B 的过程就是白天。太阳过了 B 点就不为人所见，相当于日没，B 对于 O 就是日落方向，太阳从 B 走回 A 的过程就是黑夜。盖天说比较成功地说明了太阳为什么夏至日从东北方出现而在西北方消失的道理。又由于 A 到 B 的路程大于 B 到 A 的路程，故夏至日白天最长，气温最高。这一解释同样可用于冬至日。

但是，盖天说也存在许多无法解释的问题。比如，在春分和秋分时，太阳应该出于正东方（即 C 点），没于正西方（即 D 点），这一点从图上看大致不错。可是白天黑夜应该平分一天，而图上的 C 到 D 的路程差不多只有 D 到 C 路程的 1/3。再有，按盖天说的规定，冬至日道（即外衡）为 23．8 万里，正好是夏至日道（即内衡）11．9 万里的两倍，那么太阳在冬至日要比在夏至日多走一倍的路程，也就是说，太阳在冬至日的运动速度要比在夏至日时快一倍，明显地与天象不符。盖天说其实经不起仔细推敲。

盖天说对某些天文现象的解释

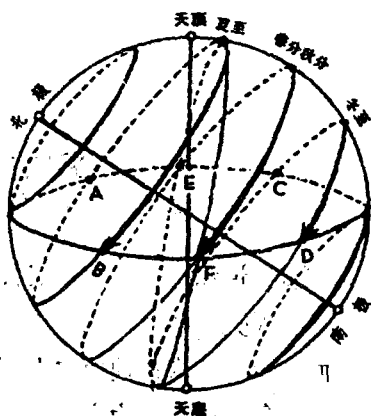
浑天说

在解释天文现象上，浑天说似乎更高一筹，得到很多的拥护者。

张衡在《浑仪注》里阐述了浑天说的主要思想：天是一个球壳，天包着地，像蛋壳包着蛋黄。天外是气体，天内有水，地漂在水上。全天为365¼度，其一半盖在地上，一半环于地下，所以二十八宿恒星只能看到其中的一半。南极和北极整整相差半个圆周。天的旋转正像滚动的车轮，没有停止的迹象。

分析浑天家制造的浑仪和浑象，有助于读者了解浑天说在解释天象方面的能力。与极轴垂直的圆有五个。靠近北极的圆叫恒显圈，凡在圈内的恒星，全年总在地面以上。靠近南极的圆叫恒隐圈，圈内的恒星总在地面以下，全年都看不到。位于中间的圆代表天赤道。太阳在春分和秋分时，沿天赤道运动，出于正东方的E点，没于正西方的F点，而且白天和黑夜所走的距离相等。天赤道以北，是太阳在夏至日所走的轨道，早晨出于东北方的A点，傍晚没于西北方的B点，白天所行路程明显多于夜晚。不仅如此，浑仪还可以定量地表示出与真实天象完全相符的数据。

盖天说能够演示的天象，浑天说同样能够演示。盖天说

不能演示的天象，浑天说也可以。看来，浑天说在表现天体视运动方面是无懈可击的。然而，古人很难接受地是漂浮不稳的和日、月、星辰夜晚会浸泡在水里的假设，以致浑天说和盖天说之争相持了很长一段时间，直到唐朝。

浑天说解释图

这里不能不谈到，在盖天说定量化的过程中，曾运用了两个几何定理和一项假说，推出一系列结论的。两个几何定理是：（1）相似三角形的对应边成等比关系。（2）直角三角形的勾股弦定理。一个假设是：在南北两地用八尺表同时测量影长，相距 1000 里，影长应差一寸。问题正是出在这条假设上。然而不但盖天家们相信它，就连浑天家张衡、葛洪、祖暅等也把它当成公理，作推论的依据。

唐开元十二年（724），一行和南宫说等人在河南的滑县、浚仪（今开封）、扶沟和上蔡等地同时测量影长，发现滑县距离上蔡 526. 9 里，而影长却差 2. 1 寸，完全否定了“日影千里差一寸”的假设。

这次著名的论证以后，浑天说便为绝大部分的人所信服，成为中国古代正统的宇宙学说。

宣夜说

在盖天说和浑天说中，天都是一个壳层结构，日月星辰都附着在天壳上。

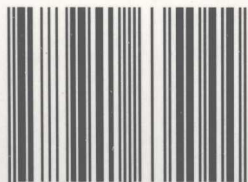
而宣夜说认为：地面之上不存在固体的天壳，天之所以呈现出蓝色，那是因为离我们太遥远的缘故。地球以外到处都是气体，日、月、行星、恒星，甚至银河都是会发光的气体，它们在气体的推动下，自由来往，互不干涉。

虽然宣夜说对宇宙的物质结构有接近于真实的理解，但它一直没有发展起配套的计算模式，而更多地注重思辨性的猜测，导致最后被发展成一种玄学。因此，宣夜说还不能称做完整的宇宙理论。

藏书阁

责任编辑：王 军　俞光旭

中国科技百科

①与时俱进的古代科技
②探索时空的天文历法
③妙手回春的古代医学
④独领风骚的古代数学
⑤潜迹明工的古代地理
⑥自成体系的古代物理
⑦举世震惊的古代化学
⑧承前启后的近代化学
⑨探索自然的古生物学
⑩鬼斧神工的古代建筑
⑪雕栏玉砌的著名建筑
⑫历史悠久的古代农学
⑬刀耕火种的古代农业
⑭光耀世界的科学大家
⑮星光闪烁的科技名家
⑯震惊世界的科技发明
⑰引领社会的生活创造
⑱尊师重教的古代教育
⑲思虑深沉的教育大家
⑳海陆并举的军事工程

ISBN7-80163-504-3
定价：580.00元［全20册］